

У 694(0-75)
В. Н. ОСНОВИН

0-75

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ В СЕЛЬСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МЕЛИОРАЦИИ. • ПРАКТИКУМ •

учебное пособие

БЗД203

Минск 2006

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

У 691(075)
0-75

В. Н. ОСНОВИН

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ В СЕЛЬСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МЕЛИОРАЦИИ ПРАКТИКУМ

*Допущено Министерством образования
Республики Беларусь в качестве учебного пособия
для студентов специальностей «Сельское
строительство и обустройство территорий»
и «Мелиорация и водное хозяйство» учреждений,
обеспечивающих получение высшего образования*

332293



Минск
ИВЦ Минфина
2006

БИБЛИОТЕКА
Брестского государственного
технического университета

УДК 691(1-21)(076.5)(075.8)
ББК 38.3 я73
О-73

Рецензенты:

кафедра технологий бетона и строительных материалов БГТУ (кандидат технических наук, доцент *Т. П. Шалобита*);
кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и изделий БНТУ *А. Э. Змачинский*

Основин, В. Н.

О-73 Строительные материалы и изделия в сельском строительстве и мелиорации. Практикум: учеб. пособие / В. Н. Основин. — Минск: ИВЦ Минфина, 2006. — 236 с.

ISBN 985-6782-52-X.

Приведены задачи, связанные с оценкой свойств, технологией и применением основных строительных материалов, а также примеры их решения с учетом специфики мелиоративного, водохозяйственного и сельского строительства. Отдельные задачи предназначены для закрепления навыков статистической обработки результатов экспериментов по определению качества материалов. Основное внимание уделено задачам по выбору исходных материалов для приготовления гидротехнического бетона, определению составов бетона различных видов и оценке их физико-механических свойств. Представлены необходимые справочные данные и нормативные материалы по состоянию на 1 января 2005 г.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Мелиорация и водное хозяйство», «Сельское строительство и обустройство территорий», а также может быть использовано инженерно-техническими работниками.

УДК 691(1-21)(076.5)(075.8)
ББК 38.3 я73

ISBN 985-6782-52-X

© Основин В. Н., 2006
© Оформление.
УП «ИВЦ Минфина», 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Важными мерами по дальнейшему совершенствованию мелиоративного, водохозяйственного и сельского строительства являются улучшение качества работ, максимальное сокращение сроков и снижение стоимости строительства, с чем тесно связано рациональное использование строительных материалов. Чем шире ассортимент, выше качество и ниже стоимость строительных материалов, тем успешнее осуществляется строительство гидротехнических и многих других инженерных сооружений и зданий, возводимых на мелиоративных и водохозяйственных системах, а также в сельской местности.

Эффективность использования строительных материалов в основном зависит от того, насколько их качество соответствует условиям работы инженерных сооружений. Правильный выбор материалов, хорошо организованный текущий контроль позволяют обеспечить рациональное использование материалов и высокое качество сооружений и зданий. Работы по контролю качества материалов и изделий, параметров технологического процесса на производстве выполняют строительные лаборатории и отделы технического контроля. В связи с этим будущий специалист должен овладеть методами оценки качества сырья и особенностей готовой заводской продукции, направляемой на строительство, правилами ее приемки, хранения, транспортировки, экономного расходования и т. п. Он должен также приобрести практические навыки, особенно в отношении проверки качества материалов, изготовления образцов для их испытания, подбора рационального состава многокомпонентных (композиционных) материалов.

Практикум окажет помощь студентам высших учебных заведений, обучающимся по строительным специальностям, в овладении

методами оценки качества материалов и соответствия их требованиям СТБ и ГОСТов, способами расчета составов гидротехнического и других видов бетона, установления количества транспортных средств для перевозки необходимого объема материалов и другими практическими навыками.

Как показывает многолетний опыт преподавания дисциплины «Строительные материалы и изделия», такая цель может быть достигнута более успешно путем решения задач по всем основным видам строительных материалов. Решение задач как одна из наиболее активных форм обучения и самостоятельной работы студентов, особенно заочной формы обучения, способствует развитию творческого технического мышления, закреплению теоретических знаний. Практикум поможет студентам более глубоко и полно разобраться в разнообразии свойств материалов и изделий, технологии их получения и рационального использования в мелиоративном, водохозяйственном и сельском строительстве.

При составлении данного пособия использовались рекомендованная учебной программой, а также научная и специальная литература, действующие ГОСТы, СНиПы, СТБ, СНБ и ТУ.

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В процессе строительства, эксплуатации и ремонта зданий и сооружений строительные материалы, изделия и конструкции, из которых они возводятся, подвергаются различным физико-механическим, химическим и технологическим воздействиям. От инженера-гидротехника, как и от инженера-строителя, требуется умение со знанием дела правильно выбирать материалы, изделия или конструкции, которые обладают достаточной стойкостью, надежностью и долговечностью в конкретных условиях эксплуатации.

Основными физико-механическими свойствами являются: истинная, средняя и насыпная плотности, относительная плотность и пористость, межзерновая пустотность, гигроскопичность, гидрофобность, гидрофильность, влажность, водопоглощение, водонепроницаемость, водостойкость, фильтрационная способность (водопроницаемость), морозостойкость, теплопроводность, теплоемкость, коррозионная стойкость, набухание и усадка, прочность при сжатии, растяжении и изгибе, упругость, пластичность, хрупкость и др. Знание этих свойств позволяет сравнивать материалы между собой и определять область их применения с учетом технико-экономической целесообразности.

Особое внимание следует уделять строительным материалам, используемым в гидромелиоративном и водохозяйственном строительстве. В условиях эксплуатации гидротехнических сооружений строительные материалы, изделия и конструкции, из которых они построены, подвергаются периодическому или постоянному воздействию воды и агрессивных сред, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по водостойкости, морозостойкости

ти, водонепроницаемости, коррозионной стойкости и др. Многие материалы под влиянием влагопоглощения ярко проявляют повышенные пластические свойства. Многочисленные примеры показывают, что выбор технически целесообразного материала обосновывают не только его прочностными характеристиками, но и стойкостью к воздействию внешней среды, в которой работает конструкция. Обычно эта стойкость материала во времени (долговечность) неразрывно связана с его химическими и физико-химическими свойствами. Последние же тесно связаны со структурой материала и зависят от ее изменения под влиянием внешних и внутренних факторов.

Внутренние химические реакции с образованием новых соединений вследствие проникновения химических реагентов из внешней среды могут существенным образом отразиться на структуре. Изменение структуры (микро- и макроструктуры) в первый период может привести к псевдоупрочнению, а в дальнейшем — к сокращению долговечности материала.

Материал, применяемый в строительстве, обычно подвергается технологической обработке. Способность поддаваться такой обработке является иногда решающим показателем при выборе материала. Например, при массовой заготовке щебня для бетонных работ учитывается способность горной породы дробиться без образования плоских щебенков (лещадки), поэтому при выборе материалов всегда учитывают его способность реагировать на отдельные или взятые в совокупности факторы — физические, механические, внешнюю среду, температуру и ее колебания, химические реагенты, технологические операции и др. Эта способность материала реагировать на указанные факторы определяется его свойствами.

Оценка технических свойств и сравнение материалов между собой возможны по показателям, которые получают при испытании материалов в полевых, заводских или лабораторных условиях, а также в полупроизводственных опытных условиях (полигон, участок, модель и др.).

Таким образом, знание основных технических свойств строительных материалов и изделий дает возможность рационально использовать их в строительстве при инженерно-технических расчетах.

Например, по известным значениям истинной и средней плотности строительных материалов можно рассчитать, какой плотностью (или пористостью) обладают эти материалы, что, в свою очередь, позволяет составить достаточно полное представление о прочности, теплопроводности, водопоглощении и других важных характеристиках строительных материалов и на этом основании решать вопрос об их применении в тех или иных сооружениях и конструкциях.

Величина средней плотности строительных материалов необходима для расчета нагрузок, при определении массы сооружений, для транспортных расчетов и выбора емкости складских помещений и т. д. Без данных о прочности применяемых материалов невозможны расчеты прочности и устойчивости сооружений и конструкций, а также прогноз их долговечности без знания таких свойств материалов, как отношение к влаге, смене температур, воздействию окружающей среды и др.

Знание основных свойств строительных материалов необходимо для выполнения инженерных расчетов, позволяющих оценить их качество, соответствие техническим требованиям, возможность применения в конкретных условиях эксплуатации. Помощь в этом окажут предлагаемые задачи и примеры их решения.

ПРИМЕРЫ

Пример 1.1. Масса навески тонкоизмельченного кварцевого песка $m_n = 9,7$ г. Масса пикнометра с водой $m_{н.в}$ составляет 72,5 г, с навеской и водой — $m_{н.в} = 78,55$ г.

Чему равна истинная плотность кварцевого песка?

Решение: Определяем массу вытесненной воды

$$m_v = (m_{н.в} + m_n) - m_{н.в} = (72,5 + 9,7) - 78,55 = 3,65 \text{ г.}$$

Масса вытесненной воды равна ее объему $m_v = V_v \rho_v$, а объем вытесненной воды равен объему кварцевого песка в плотном состоянии $V_p = V_v$.

Тогда истинная плотность кварцевого песка

$$\rho_{и.п} = \frac{m_{к.п}}{V_n} = \frac{9,7}{3,65} = 2,66 \text{ г/см}^3.$$

Пример 1.2. Пикнометр с навеской тонкоизмельченной извести-кипелки имеет массу $m_{п.н.} = 34,3$ г, а пустой — $m_n = 24,1$ г. Когда в пикнометр с известью влили керосин до соответствующей отметки, то его масса стала $m_{п.н.к} = 74,17$ г, а масса пикнометра с керосином (без навески) была равна $m_{п.к} = 66,6$ г.

Рассчитать истинную плотность извести-кипелки при условии, что пикнометр с водой имеет массу $m_{п.в} = 74,2$ г.

Решение: Определяем сначала истинную плотность керосина.

Объем пикнометра, определяемый разностью масс:

$$V_n = m_{п.в} - m_n = 74,2 - 24,1 = 50,1 \text{ г/см}^3.$$

Масса керосина в объеме пикнометра

$$m_k = m_{п.к} - m_n = 66,6 - 24,1 = 42,5 \text{ г.}$$

Откуда истинная плотность керосина

$$\rho_{к.к} = \frac{m_k}{V_k = V_n} = \frac{42,5}{50,1} = 0,85 \text{ г/см}^3.$$

Масса керосина, вытесненного известью из пикнометра:

$$m_{к.к} = m_{п.к} + (m_{п.н} - m_n) - m_{п.н.к} = 66,6 + (34,3 - 24,1) - 74,17 = 2,63 \text{ г,}$$

где в скобках приведена величина навески извести, равная 10,2 г.

Объем вытесненного керосина, т. е. абсолютный объем навески извести-кипелки (в плотном состоянии):

$$V_n = \frac{m_{к.к}}{\rho_{к.к}} = \frac{2,63}{0,85} = 3,09 \text{ см}^3.$$

Тогда истинная плотность извести-кипелки

$$\rho_{п.н} = \frac{m_n}{V_n} = \frac{10,2}{3,09} = 3,30 \text{ г/см}^3.$$

Пример 1.3. Кузов автомашины, имеющий размеры $l_k \times b_k \times h_k = 2,8 \times 1,8 \times 0,60$ м, заполнен на $2/3$ своей высоты щебнем. Масса автомашины без щебня $m_a = 3,0$ т, а со щебнем — $m_{а.щ} = 5,86$ т.

Рассчитать насыпную плотность щебня и его пустотность. Истинная плотность щебня равна $\rho_{п.щ} = 2700 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Высота слоя щебня в кузове автомашины

$$h_{щ} = 2/3 h_k = 2/3 \cdot 0,6 = 0,4 \text{ м.}$$

Объем щебня

$$V_{щ} = l_k \cdot b_k \cdot h_{щ} = 2,8 \cdot 1,8 \cdot 0,4 = 2,016 \text{ м}^3.$$

Масса щебня

$$m_{щ} = m_{а.щ} - m_a = 5,86 - 3,0 = 2,86 \text{ т.}$$

Тогда насыпная плотность щебня

$$\rho_{н.щ} = \frac{m_{щ}}{V_{щ}} = \frac{2,86}{2,016} = 1,42 \text{ т/м}^3.$$

Пустотность щебня

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_{н.щ}}{\rho_{п.щ}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1,42}{2,700}\right) \cdot 100 = 47,5 \text{ \%}.$$

Пример 1.4. Определить среднюю плотность каменного образца неправильной формы, если при взвешивании его на воздухе масса оказалась $m_o = 100$ г, а в воде $m_{в.о} = 55$ г. До взвешивания в воде образец парафинировали, масса которого была $m_{п.о} = 101,1$ г. Плотность парафина составила $\rho_p = 0,93 \text{ г/см}^3$.

Решение: Определяем объем парафинированного образца, который по закону Архимеда равен потере его массы при взвешивании в воде (плотность воды $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$):

$$V_{п.о} = \frac{m_{п.о} - m_{в.о}}{\rho_w} = 101,1 - 55,0 = 46,1 \text{ см}^3.$$

Масса парафина

$$m_p = m_{п.о} - m_o = 101,1 - 100,0 = 1,1 \text{ г.}$$

Объем парафина

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p} = \frac{1,1}{0,93} = 1,18 \text{ см}^3.$$

Объем непарафинированного образца

$$V_o = V_{п.о} - V_p = 46,1 - 1,18 = 44,92 \text{ см}^3.$$

Тогда средняя плотность каменного образца неправильной формы

$$\rho_c = \frac{m_o}{V_o} = \frac{100,0}{44,92} = 2,23 \text{ г/см}^3.$$

Пример 1.5. Какую минимально полезную площадь должен иметь цементный склад для размещения $m_u = 1250$ т цемента в россыпи со средней насыпной плотностью $\rho_{н.ц} = 1,25$ г/см³, если высота цемента на складе во избежание слеживания не должна превышать $h_u = 1,5$ м?

Решение: Объем цемента на складе

$$V_u = \frac{m_u}{\rho_{н.ц}} = \frac{1250}{1,25} = 1000 \text{ м}^3.$$

Тогда площадь склада

$$F_{скл} = \frac{V_u}{h_u} = \frac{1000}{1,5} = 666,7 \text{ м}^2.$$

Пример 1.6. Определить вместимость, длину и площадь штабельного склада щебня, необходимого для 10-суточной работы растворобетонного узла с суточным расходом щебня $m_{сут} = 600$ т. Высота штабеля $h = 4$ м. Угол естественного откоса щебня $\beta = 35^\circ$. Насыпная плотность щебня $\rho_{н.щ} = 1450$ кг/м³.

Решение: При расчете вместимости склада крупного заполнителя (щебня) используют формулу

$$V_{з.н} = V_{сут} \cdot \tau_{зр} \cdot 1,2 \cdot 1,02,$$

где $V_{сут}$ — суточный объем щебня, м³; $\tau_{зр}$ — нормативный запас хранения материалов; 1,2 — коэффициент, учитывающий потери при транспортировке.

Суточный расход щебня

$$V_{сут} = \frac{m_{сут}}{\rho_{н.щ}} = \frac{600}{1,45} = 413,8 \text{ м}^3,$$

тогда

$$V_{з.н} = 413,8 \cdot 10 \cdot 1,2 \cdot 1,02 = 5064,9 \text{ м}^3.$$

Длину штабельного склада находят по формуле

$$L_c = \frac{V_{з.н} \cdot \text{tg} \beta}{h^2} = \frac{5064,9 \cdot 0,699}{16,0} = 221,27 \text{ м},$$

где β — угол естественного откоса материала в штабеле.

Тогда площадь штабельного склада щебня определяют по формуле

$$F_c = \frac{2L_c \cdot h}{\text{tg} \beta} = \frac{2 \cdot 221,27 \cdot 4}{0,699} = 2532,45 \text{ м}^2.$$

Пример 1.7. Дозировочный бункер для песка (дозатор) имеет форму цилиндра с диаметром $D = 100$ см, высотой $H = 120$ см и массу с песком $m_{д.п} = 1585$ кг, а пустой — $m_d = 84$ кг.

Определить пустотность песка в бункере, принимая среднюю плотность зерен песка $\rho_{с.п} = 2,48$ г/см³.

Решение: Определяем объем дозатора

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} \cdot 1,2 = 0,94 \text{ м}^3.$$

Масса песка в объеме дозатора

$$m_n = m_{д.п} - m_d = 1585 - 84 = 1501 \text{ кг}.$$

Тогда насыпная плотность песка

$$\rho_{н.п} = \frac{m_n}{V_n} = \frac{1501}{0,94} = 1596,8 \text{ кг/м}^3.$$

Пустотность песка, %:

$$П_n = \left(1 - \frac{\rho_{н.п}}{\rho_{с.п}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1596,8}{2480}\right) \cdot 100 = 35,6 \, \%.$$

Пример 1.8. При строительстве автомобильной дороги длиной $L = 1$ км, шириной проезжей части $B = 7,5$ м толщина щебеночного основания составляет $t = 20$ см. Коэффициент уплотнения щебеня $K_y = 1,2$, коэффициент возможных потерь $K_n = 1,04$. Щебень гранитный с истинной плотностью $\rho_{н.щ} = 2670$ кг/м³ и насыпной плотностью $\rho_{н.щ} = 1550$ кг/м³. Сколько потребуется щебеня и 60-тонных дорожных вагонов для его перевозки? Какова пустотность щебеня, отгружаемого в вагоны?

Решение: Объем щебеночного основания в уплотненном состоянии

$$V_{уп} = L \cdot B \cdot t = 1000 \cdot 7,5 \cdot 0,2 = 1500 \text{ м}^3.$$

Объем щебеня в рыхло-насыпном состоянии

$$V_{рыхл} = V_{уп} \cdot K_y = 1500 \cdot 1,2 = 1800 \text{ м}^3.$$

Объем щебеня с учетом потерь (необходимый объем для строительства дороги):

$$V_n = V_{\text{рыкл}} \cdot K_n = 1800 \cdot 1,04 = 1872 \text{ м}^3.$$

Тогда расход щебня по массе

$$m_{\text{щ}} = V_n \cdot \rho_{\text{н.щ}} = 1872 \cdot 1550 = 2\,901\,600 \text{ кг} = 2901,6 \text{ т}.$$

Необходимое количество 60-тонных железнодорожных вагонов

$$n = \frac{m_{\text{щ}}}{m_n} = \frac{2901,6}{60} = 48,36, \text{ т.е. } 49 \text{ шт.}$$

Пустотность щебня в вагоне

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_{\text{н.щ}}}{\rho_{\text{н.ш}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1550}{2670}\right) \cdot 100 = 41,9 \, \%.$$

Пример 1.9. Образец газосиликата в виде цилиндра диаметром $D = 10 \text{ см}$ и высотой $h_r = 10 \text{ см}$ плавает в керосине. В первый момент, когда поглощением керосина можно пренебречь, высота его над уровнем жидкости равна $h_y = 3,5 \text{ см}$. По истечении некоторого времени вследствие поглощения керосина порами газосиликата последний погрузился полностью в жидкость.

Определить:

- пористость газосиликата;
- количество поглощенного им керосина в момент полного погружения в жидкость;
- какая часть всех пор газосиликата оказалась в этот момент заполненной керосином?

Плотность керосина равна $\rho_{\text{к.к}} = 0,85 \text{ г/см}^3$, а истинная плотность газосиликата $\rho_{\text{н.г}} = 2,68 \text{ г/см}^3$.

Решение: Первоначальная глубина погружения газосиликата

$$h_{\text{н.г}} = h_r - h_y = 10,0 - 3,5 = 6,5 \text{ см}.$$

Объем погруженной в керосин части образца

$$V_{\text{н.г}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_{\text{н.г}} = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} \cdot 6,5 = 510,25 \text{ см}^3.$$

Масса керосина в этом объеме равна массе всего образца газосиликата:

$$m_r = V_{\text{н.г}} \cdot \rho_{\text{к.к}} = 510,25 \cdot 0,85 = 433,71 \text{ г}.$$

Объем всего образца

$$V_r = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} \cdot 10 = 785,0 \text{ см}^3.$$

Поэтому средняя плотность газосиликата

$$\rho_{\text{с.г}} = \frac{m_r}{V_r} = \frac{433,71}{785,0} = 0,55 \text{ г/см}^3,$$

а пористость $\Pi_r = \left(1 - \frac{\rho_{\text{с.г}}}{\rho_{\text{н.г}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0,55}{2,68}\right) \cdot 100 = 79,5 \, \%.$

Масса образца газосиликата в момент полного погружения его в керосин равна массе керосина в объеме всего образца, т.е.

$$m_{\text{к.к}} = \rho_{\text{к.к}} \cdot V_r = 0,85 \cdot 785,0 = 667,25 \text{ г},$$

а начальная масса образца

$$m_{\text{н.г}} = \rho_{\text{с.г}} \cdot V_r = 0,55 \cdot 785,0 = 431,75 \text{ г},$$

т. е. газосиликат за время нахождения в керосине поглотил

$$m_{\text{п.к}} = m_{\text{к.к}} - m_{\text{н.г}} = 667,25 - 431,75 = 235,5 \text{ г керосина}.$$

Объем поглощенного керосина

$$V_{\text{п.к}} = \frac{m_{\text{п.к}}}{\rho_{\text{к.к}}} = \frac{235,5}{0,85} = 277,06 \text{ см}^3.$$

Объем всех пор в газосиликате

$$V_{\text{пор}} = V_r \cdot \frac{\Pi_r}{100} = 785,0 \cdot \frac{79,5}{100} = 624,08 \text{ см}^3.$$

Тогда процент заполненных керосином пор будет определен как

$$\frac{V_{\text{п.к}}}{V_{\text{пор}}} \cdot 100 = \frac{277,06}{624,08} \cdot 100 = 44,39 \, \%.$$

Пример 1.10. Определить коэффициент насыщения водой пор кирпича размерами $l_k \times b_k \times h_k = 250 \times 120 \times 65 \text{ мм}$ с истинной плотностью $\rho_{\text{н.к}} = 2,6 \text{ г/см}^3$ и массой в сухом состоянии $m = 3,5 \text{ кг}$, если после выдерживания в воде масса кирпича оказалась $m_w = 4 \text{ кг}$.

Решение: Коэффициент насыщения пор K_n равен отношению водопоглощения по объему к пористости материала.

Водопоглощение кирпича по массе

$$\omega_m = \frac{m_a - m}{m} \cdot 100 = \frac{4 - 3,5}{3,5} \cdot 100 = 14,3 \%$$

Объем кирпича

$$V_k = l_k \cdot b_k \cdot h_k = 25 \cdot 12 \cdot 6,5 = 1950,0 \text{ см}^3$$

Средняя плотность кирпича

$$\rho_{с.к} = \frac{m_k}{V_k} = \frac{3500}{1950} = 1,79 \text{ г/см}^3 \text{ или } 1790 \text{ кг/м}^3$$

а водопоглощение кирпича по объему

$$\omega_v = \omega_m \cdot \rho_{с.к} = 14,3 \cdot 1,79 = 25,6 \%$$

Общая пористость

$$П = \left(1 - \frac{\rho_{с.к}}{\rho_{н.к}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1,79}{2,6}\right) \cdot 100 = 31,2 \%$$

Тогда коэффициент насыщения

$$K_n = \frac{\omega_v}{П} = \frac{25,6}{31,2} = 0,82$$

Пример 1.11. Определить абсолютную (по массе и объему) и относительную влажности керамической черепицы, объем которой $V_v = 1,4 \text{ дм}^3$, масса во влажном состоянии $m_{ч.в} = 2,78 \text{ кг}$, а в сухом — $m_{ч.с} = 2,37 \text{ кг}$.

Решение: Масса влаги в черепице

$$m_w = m_{ч.в} - m_{ч.с} = 2,78 - 2,37 = 0,41 \text{ кг}$$

Абсолютная влажность

$$\text{по массе } W_m = \frac{m_w}{m_{ч.с}} \cdot 100 = \frac{0,41}{2,37} \cdot 100 = 17,3 \%$$

$$\text{по объему } W_v = \frac{m_w}{V_v} \cdot 100 = \frac{0,41}{1,4} \cdot 100 = 29,3 \%$$

Относительная влажность черепицы

$$W_o = \frac{m_w}{m_{ч.в}} \cdot 100 = \frac{0,41}{2,78} \cdot 100 = 14,7 \%$$

Пример 1.12. Водопоглощение бетона по массе ω_m и объему ω_v соответственно равно 3,9 % и 8,6 %.

Рассчитать пористость бетона при среднем значении истинной плотности $\rho_n = 2,72 \text{ г/см}^3$.

Решение: Находим значение средней плотности бетона исходя из зависимости:

$$\rho_c = \frac{\omega_v}{\omega_m} = \frac{8,6}{3,9} = 2,21 \text{ г/см}^3$$

Тогда пористость бетона

$$П = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_n}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{2,21}{2,72}\right) \cdot 100 = 18,8 \%$$

Пример 1.13. Высушенный до постоянной массы обыкновенный керамический кирпич имеет массу $m_k = 3,42 \text{ кг}$, а после насыщения водой $m_{к.н} = 3,98 \text{ кг}$.

Рассчитать среднюю плотность кирпича, абсолютную и относительную влажность по массе, кажущуюся и истинную пористости кирпича, а также процент пор, оставшихся не заполненными водой. Размеры кирпича приняты согласно СТБ 1160-99, а истинную плотность $\rho_{н.к} = 2,68 \text{ г/см}^3$.

Решение: Объем кирпича $V_k = l_k \cdot b_k \cdot h_k = 25 \cdot 12 \cdot 6,5 = 1950 \text{ см}^3$. Его средняя плотность в сухом состоянии равна

$$\rho_{с.к} = \frac{m_k}{V_k} = \frac{3420}{1950} = 1,75 \text{ г/см}^3$$

Масса воды в кирпиче

$$m_w = m_{к.н} - m_k = 3,98 - 3,42 = 0,56 \text{ кг} = 560,0 \text{ г}$$

Абсолютная влажность кирпича по массе

$$W_m = \frac{m_w}{m_k} \cdot 100 = \frac{560}{3420} \cdot 100 = 16,4 \%$$

Относительная влажность

$$W_o = \frac{m_w}{m_{к.н}} \cdot 100 = \frac{560}{3980} \cdot 100 = 14,1 \%$$

Кажущаяся пористость кирпича (водопоглощение по объему)

$$P_k = \frac{m_n}{V_k} \cdot 100 = \frac{560}{1950} \cdot 100 = 28,7 \%$$

Истинная пористость кирпича составит

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{ск}}{\rho_{н.к.}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1,75}{2,68}\right) \cdot 100 = 34,7 \%$$

Остались незаполненными водой

$$P - P_k = 34,7 - 28,7 = 6,0 \% \text{ пор.}$$

Пример 1.14. На кирпичный столб с площадью сечения $a \times a = 51 \times 51$ см приложена вертикальная нагрузка P в 3600 кН. Предел прочности кирпича в сухом состоянии на сжатие составляет 15 МПа, а предельно допустимая (по расчету) нагрузка на каждый квадратный сантиметр площади сечения столба не должна превышать 10%-й прочности кирпича.

Определить, выдержит ли, находясь в воде, столб указанную нагрузку. Коэффициент размягчения кирпича принять $K_p = 0,84$.

Решение: Площадь сечения столба

$$F_{ст} = a \cdot a = 51,0 \cdot 51,0 = 2601 \text{ см}^2.$$

Прочность столба при реальной нагрузке

$$R_{ст} = \frac{P}{F_{ст}} = \frac{3600}{2601} = 1,38 \text{ МПа,}$$

что меньше 10 %-й прочности сухого кирпича:

$$R_{доп.ст} = R_k \cdot 0,1 = 15,0 \cdot 0,1 = 1,5 \text{ МПа.}$$

Прочность водонасыщенного кирпича при $K_p = 0,84$

$$R_{н.ст} = R_k \cdot K_p = 15,0 \cdot 0,84 = 12,6 \text{ МПа,}$$

а 10 % ее прочности (1,26 МПа) меньше допустимой по расчету (1,38 МПа), в связи с чем столб окажется перегруженным.

Пример 1.15. Керамическая канализационная труба наружным диаметром $D_n = 460$ мм, внутренним диаметром $D_v = 400$ мм и длиной $l = 800$ мм находится на испытании под гидравлическим давлением $P = 0,3$ МПа. За сутки сквозь стенки трубы просочилось

$Q_v = 37 \text{ см}^3$ воды. Рассчитать коэффициент фильтрации керамической трубы.

Решение: Площадь внутренней поверхности трубы

$$S = \pi D_v l = 3,14 \cdot 40,0 \cdot 80,0 = 10\,048 \text{ см}^2.$$

Толщина трубы

$$\delta = \frac{D_n - D_v}{2} = \frac{46,0 - 40,0}{2} = 3,0 \text{ см.}$$

Тогда коэффициент фильтрации керамической трубы [19]:

$$K_\phi = \frac{Q_v \cdot \delta}{S \cdot l \cdot P} = \frac{37 \cdot 3}{10\,048 \cdot 24 \cdot 3 \cdot 10^3} = 1,53 \cdot 10^{-7} \text{ см/ч}$$

или $1,53 \cdot 10^{-5} \text{ м/ч.}$

Примечание. При расчетах коэффициента фильтрации гидравлическое давление P выражается в метрах водяного столба ($P = 0,3 \text{ МПа} = 30 \text{ м вод.ст.}$).

Пример 1.16. Влажный кирпич имел массу $m_n = 3784$ г. После нахождения в течение суток на воздухе с относительной влажностью 60 % при температуре $+20^\circ\text{C}$ кирпич имел массу $m_{ов} = 3761$ г.

Определить величину влагоотдачи кирпича, принимая его массу в абсолютно сухом состоянии равным $m_c = 3510$ г.

Решение: Влагоотдача материалов выражается отношением массы потерянной влаги (за одни сутки при температуре $+20^\circ\text{C}$ и влажности воздуха 60 %) к массе исходного сухого образца, т.е.

$$B_{отд} = \frac{m_n - m_{ов}}{m_c} \cdot 100 = \frac{3784 - 3761}{3510} \cdot 100 = 0,7 \%$$

Пример 1.17. Через наружную стену из шлакобетона площадью $F = 8,4 \text{ м}^2$ проходит в сутки $Q = 5700$ ккал (23 866 кДж) тепла. Толщина стены $a = 0,25$ м. Температура наружной поверхности стены -17°C , а внутренней $+18^\circ\text{C}$.

Рассчитать коэффициент теплопроводности шлакобетона.

Решение: Расчет ведется по формуле

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{F(t_2 - t_1) \cdot \tau} = \frac{5700 \cdot 0,25}{8,4 \cdot 35 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,23 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$$

Брестского государственного
технического университета

где Q — количество прошедшего тепла, ккал; a — толщина стены, м; F — площадь стены, m^2 ; $t_2 - t_1$ — разность температур на противоположных сторонах стены, $^{\circ}C$; τ — время, в течение которого происходит передача теплового потока, ч ($\tau = 24$ ч).

Примечание. $1 \text{ ккал}/(m \cdot ^{\circ}C \cdot ч) = 1,163 \text{ Вт}/(m \cdot ^{\circ}C)$.

Пример 1.18. Теплоизоляционный материал мипора имеет среднюю плотность $\rho_{с.м} = 10 \text{ кг}/m^3$ и коэффициент теплопроводности $\rho_{с.м}$ около $0,023 \text{ Вт}/(m \cdot ^{\circ}C)$, т. е. примерно как у воздуха.

Каким приблизительно будет коэффициент теплопроводности мипоры, полностью насыщенной водой при $+15^{\circ}C$, а также замороженной в этом состоянии при температуре $-15^{\circ}C$?

Решение: Ввиду того что мипора является высокопористым материалом, заполнение пор водой повысит коэффициент теплопроводности на $0,58 \text{ Вт}/(m \cdot ^{\circ}C)$, т. е. на величину, равную коэффициенту теплопроводности воды.

Если мипора в насыщенном водой состоянии будет заморожена, то коэффициент теплопроводности ее увеличится еще в 4 раза и станет равным $2,33 \text{ Вт}/(m \cdot ^{\circ}C)$, т. е. равным величине коэффициента теплопроводности льда.

Пример 1.19. Кирпич керамический рядовой имеет среднюю плотность $\rho_{с.р} = 1900 \text{ кг}/m^3$, условно-эффективный — $\rho_{с.у} = 1700 \text{ кг}/m^3$, а эффективный — $\rho_{с.э} = 1200 \text{ кг}/m^3$.

Какой толщины следует построить стену из условно-эффективного и эффективного кирпича, если равноценная ему в теплотехническом отношении стена из рядового кирпича имеет толщину $64,0 \text{ см}$?

Решение: Определяем сначала по формуле В. П. Некрасова ориентировочное значение коэффициентов теплопроводности всех трех кирпичей [19].

При этом значение средней плотности для подстановки в формулу выражаем в $т/м^3$ или $г/см^3$.

Для рядового кирпича

$$\lambda_1 = 1,163 \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot \rho_{с.р}^2} - 0,14 = \\ = 1,163 \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,9^2} - 0,14 = 0,88 \text{ Вт}/(m \cdot ^{\circ}C).$$

Для условно-эффективного кирпича

$$\lambda_2 = 1,163 \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,7^2} - 0,14 = 0,78 \text{ Вт}/(m \cdot ^{\circ}C).$$

Для эффективного кирпича

$$\lambda_3 = 1,163 \sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot 1,2^2} - 0,14 = 0,51 \text{ Вт}/(m \cdot ^{\circ}C).$$

Толщина стены из условно-эффективного кирпича во столько раз меньше стены из рядового кирпича, во сколько раз λ_1 больше

$$\lambda_2, \text{ т. е. } \frac{a_1}{a_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \text{ откуда} \\ a_2 = \frac{a_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1} = \frac{64 \cdot 0,78}{0,88} = 56,7 \text{ см.}$$

Аналогично для эффективного кирпича соотношение будет равно

$$\frac{a_1}{a_3} = \frac{\lambda_1}{\lambda_3}.$$

Тогда

$$a_3 = \frac{a_1 \cdot \lambda_3}{\lambda_1} = \frac{64 \cdot 0,51}{0,88} = 37,1 \text{ см.}$$

Пример 1.20. Сколько тепла в кДж потребуется для нагрева газобетонной панели размерами $a \times l \times b = 3,10 \times 2,70 \times 0,30 \text{ м}$ со средней плотностью $\rho_{с.н} = 850 \text{ кг}/m^3$ от $+15^{\circ}C$ до $+95^{\circ}C$, если удельная теплоемкость газобетона $C = 921,14 \text{ Дж}/(кг \cdot ^{\circ}C)$.

Решение: Определяем объем панели и ее массу:

$$V_n = a \cdot l \cdot b = 3,10 \cdot 2,70 \cdot 0,30 = 2,51 \text{ м}^3;$$

$$m_n = V_n \cdot \rho_{с.н} = 2,51 \cdot 850 = 2133,5 \text{ кг.}$$

Количество тепла рассчитываем по формуле

$$Q = c \cdot m_n (t_2 - t_1) = 921,14 \cdot 2133,5 (95 - 15) = 157\,220,2 \text{ Дж} = \\ = 157,2 \text{ кДж.}$$

Пример 1.21. Предел прочности бетона при сжатии, имеющего среднюю плотность $\rho_{с.б} = 2,3 \text{ т}/m^3$, равен $R_{сж} = 19,5 \text{ МПа}$.

Какой прочности будет бетон из тех же материалов, имеющий среднюю плотность $1,8 \text{ т}/m^3$, если установлено, что при снижении

плотности бетона на каждые 10 % прочность его снижается в среднем на 2,6 МПа?

Истинную плотность бетона принять $\rho_{н.б.} = 2,7 \text{ т/м}^3$.

Решение: Плотность бетона при его средней плотности $2,3 \text{ т/м}^3$ будет равна

$$\Pi'_6 = \frac{\rho_{с.б.}}{\rho_{н.б.}} \cdot 100 = \frac{2,30}{2,70} \cdot 100 = 85,2 \%$$

При средней плотности $\rho_{с.б.} = 1,80 \text{ т/м}^3$ плотность бетона составит

$$\Pi''_6 = \frac{1,80}{2,70} \cdot 100 = 66,7 \%$$

Снижение плотности бетона произошло на $\Delta \Pi = \Pi'_6 - \Pi''_6 = 85,2 - 66,7 = 18,5 \%$, а снижение прочности — на $\Delta R_{сж} = 2,6 \cdot 1,85 = 4,81 \text{ МПа}$.

Прочность бетона при средней плотности $1,8 \text{ т/м}^3$ равна

$$R'_{сж} = R_{сж} - \Delta R_{сж} = 19,5 - 4,81 = 14,69 \text{ МПа}.$$

Пример 1.22. Какое усилие на каждую из опор оказывает железобетонная балка прямоугольного сечения размером $b \times h = 60 \times 14 \text{ см}$ и длиной $l = 6,5 \text{ м}$ при средней плотности железобетона $\rho_c = 2500 \text{ кг/м}^3$?

Решение: Определяем объем балки

$$V_6 = b \cdot h \cdot l = 0,60 \cdot 0,14 \cdot 6,5 = 0,55 \text{ м}^3.$$

Тогда масса балки

$$m_6 = V_6 \cdot \rho_c = 0,55 \cdot 2500 = 1380 \text{ кг}.$$

Численное значение массы тела в килограммах (кг) равно численному значению силы тяжести в килограммо-силах (кгс). В системе СИ сила измеряется в ньютонах (Н — сила, сообщаемая телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2 в направлении действия силы $1 \text{ кгс} \sim 10 \text{ Н}$).

Таким образом, сила или усилие, оказываемое железобетонной балкой на две опоры, составит

$$P_6 = 1380 \cdot 10 = 13,8 \text{ кН}.$$

Нагрузка, действующая на каждую опору:

$$P_0 = 13,8/2 = 6,9 \text{ кН}.$$

Пример 1.23. Сосновый брус, площадь сечения которого $b \times h = 10 \times 20 \text{ см}$, лежит на двух опорах, отстоящих друг от друга на 4 м . Посередине бруса к нему было приложено усилие $P = 210 \text{ кН}$, что вызвало излом бруса.

Рассчитать предел прочности сосны при изгибе.

Решение: Расчет ведется по формуле

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2} = \frac{3 \cdot 210 \cdot 400}{2 \cdot 10 \cdot 20^2} = 31,5 \text{ МПа},$$

где P — усилие в середине пролета, кг; l — длина пролета, см; b — ширина бруса, см; h — высота бруса, см.

Пример 1.24. Сравнить, во сколько раз может быть увеличена высота стен при замене бутовой кладки ($\rho_{б.к.} = 2000 \text{ кг/м}^3$) другими материалами: а) кирпичной кладкой ($\rho_{к.к.} = 1700 \text{ кг/м}^3$); б) крупнопористым бетоном ($\rho_{к.б.} = 1000 \text{ кг/м}^3$), если напряжения в основании стен не превышают при бутовой кладке $\rho_{б.к.} = 5 \text{ кг/см}^2$, при кирпичной — $\rho_{к.к.} = 10 \text{ кг/см}^2$, при крупнопористом бетоне — $\rho_{к.б.} = 50 \text{ кг/см}^2$. Толщину всех стен принять $0,64 \text{ м}$, т. е. 2,5 кирпича.

Расчет вести только на собственную массу стены.

Решение: Для расчета выделим столб стены длиной $1,0 \text{ м}$ и шириной $0,64 \text{ м}$. В общем виде нагрузка на основание столба стены от собственной массы

$$P = 1 \cdot 0,64 \cdot h \cdot \rho_n,$$

где h — высота стены, м; ρ_n — средняя плотность материала, из которого возможно возведение стены, м.

Из условия прочности

$$P = F \cdot \sigma_n = 1 \cdot 0,64 \cdot h \cdot \rho_n,$$

где σ_n — напряжение в основании стен в зависимости от материала стен, кг/см^2 .

Решая эти уравнения совместно, находим

$$h = \frac{\sigma_n}{\rho_n}.$$

Тогда при бутовой кладке $h_{б.к.} = \frac{\sigma_{б.к.}}{\rho_{б.к.}} = \frac{5 \cdot 100 \cdot 100}{2000} = 2,5 \text{ м};$

при кирпичной кладке $h_{к.к} = \frac{\sigma_{к.к}}{\rho_{к.к}} = \frac{10 \cdot 100 \cdot 100}{1700} = 58,8 \text{ м}$, т. е. увеличение в 2,3 раза;
для стены из крупнопористого бетона

$$h_{к.б} = \frac{\sigma_{к.б}}{\rho_{к.б}} = \frac{50 \cdot 100 \cdot 100}{1000} = 500 \text{ м},$$

т. е. увеличение в 20 раз.

Примечание. Расчет является условным, так как для высоких стен требуется еще проверка на устойчивость против опрокидывания и выпучивания. В решении также не учтен запас прочности.

Задачи

1.1. Кусок камня-известняка неправильной формы массой 207 г вытеснил из объемомера 81 г воды.

Определить кажущуюся среднюю плотность известняка и установить, будет ли она равна или меньше истинной плотности.

1.2. Определить объем щебня, поступившего в железнодорожном полувагоне грузоподъемностью 60,0 т, если насыпная плотность щебня равна $1520,0 \text{ кг/м}^3$, а также пустотность щебня, принимая его истинную плотность равной $2,70 \text{ г/см}^3$.

1.3. Сухая гипсовая отливка в форме шара радиусом 102 см имеет массу 6,0 т.

Определить среднюю и истинную плотности затвердевшего гипса, если его пористость равна 7,8 %.

1.4. Масса образца горной породы в сухом состоянии на воздухе равна 60 г. После парофинирования его поверхности масса в воде составила 37 г. Расход парафина составляет 0,6 г, а его истинная плотность — $0,93 \text{ г/см}^3$.

Определить среднюю плотность горной породы и оценить ее.

1.5. Образец горной породы — базальта массой 109,0 г после парофинирования имел массу на воздухе 111,5 г, а в воде — 73,3 г.

Рассчитать его среднюю плотность, принимая истинную плотность парафина равной $0,93 \text{ г/см}^3$.

1.6. Уровень керасина в объемомере Ле Шателье при внесении в нее части навески пуццоланового портландцемента повысился от нулевой отметки до отметки 22 см³. Навеска цемента составляла 82 г, а остаток — 20,5 г. Определить истинную плотность пуццоланового цемента.

1.7. В мерный стеклянный цилиндр, содержащий 52 см³ керасина, всыпали 20,5 г тонкоизмельченного строительного гипса.

На какой отметке установится уровень керасина в цилиндре, если истинная плотность строительного гипса равна $2,70 \text{ г/см}^3$?

1.8. Во сколько раз пористость камня А отличается от пористости камня В, если известно, что истинные плотности обоих камней практически одинаковы и равны 2720 кг/м^3 , но средняя плотность камня А на 20 % больше, чем камня В, у которого водопоглощение по объему в 1,8 раза больше водопоглощения по массе?

1.9. Сколько щебня по массе и объему можно получить при дроблении глыбы горной породы объемом 10 м^3 с истинной плотностью 2650 кг/м^3 , если его пустотность составляет 45 %. Учесть, что потери при дроблении (в виде песка) составляют 10 % по массе.

1.10. Кубик из газосиликата с размером ребер 15 см в абсолютно сухом состоянии имел массу 2,7 кг, а после нахождения в воде — 2,95 кг.

Определить степень заполнения пор образца водой при истинной плотности газосиликата $2,68 \text{ г/см}^3$.

1.11. Всушенный до постоянной массы обыкновенный керамический кирпич имеет массу 3,42 кг, а после насыщения водой — 3,98 кг.

Рассчитать среднюю плотность кирпича, абсолютную и относительную влажности по массе, кажущуюся и истинную пористости кирпича, а также процент пор, оставшихся не заполненными водой. Размеры кирпича принять согласно норме СТБ 1160–99, а истинную плотность равной $2,68 \text{ г/см}^3$.

1.12. Автомобильная дорога имеет ширину проезжей части 7,5 м и толщину основания — 20 см. Коэффициент уплотнения щебня равен 1,2, коэффициент возможных потерь — 1,04. Щебень фракции 40...20 мм с насыпной плотностью 1500 кг/м^3 составляет 70 % от массы всего щебня. У щебня фракции 20...10 мм насыпная плотность 1550 кг/м^3 . Истинная плотность зерен гранитного щебня 2670 кг/м^3 . Сколько потребуется щебня каждой фракции по массе и объему для строительства 1 км основания?

1.13. Кубик из газобетона с размером ребер 20 см погружен в воду и плавает. При этом его высота над уровнем воды в первый момент составляет 6,5 см.

Определить пористость газобетона, принимая его истинную плотность равной $2,79 \text{ г/см}^3$. Поглощением воды при этом можно пренебречь.

1.14. Наружная стеновая панель из шлакобетона имеет размеры $3,1 \times 2 \times 0,3 \text{ м}$ и массу 2,16 т.

Определить пористость шлакобетона, принимая его истинную плотность равной $2,81 \text{ г/см}^3$.

1.15. Масса образца горной породы в сухом состоянии составляет 210 г. После выдерживания в течение 48 ч в воде масса увеличилась до 225 г. После высушивания и насыщения водой под давлением масса стала равна 232 г. Истинная плотность горной породы составляет 2780 кг/м^3 , а средняя плотность — 2000 кг/м^3 . Определить пористость, водопоглощение и водонасыщение по массе и объему. Дать заключение по морозостойкости.

1.16. Масса высушенного образца горной породы, имеющей истинную плотность 2500 кг/м^3 , равна 70 г, а после насыщения водой — 73,5 г. Определить пористость породы, если известно, что водопоглощение по объему в 1,5 раза больше водопоглощения по массе.

1.17. Материал в воздушно-сухом состоянии имеет среднюю плотность 1400 кг/м^3 , а влажность, установленную путем высушивания, — 3 % по объему. После насыщения материала водой под давлением его средняя плотность увеличилась до 1700 кг/м^3 . Установить открытую пористость материала.

1.18. Образец камня в сухом состоянии имеет массу 77 г, а после насыщения водой — 79 г. Вычислить среднюю плотность, пористость и относительную плотность камня, если его истинная плотность равна 2670 кг/м^3 , а водопоглощение по объему — 4,28 %.

1.19. Образец камня в сухом состоянии имел массу 50 г. Определить массу образца после насыщения его водой, а также истинную плотность камня, если известно, что объемное водонасыщение равно 18 %, пористость камня — 25 % и средняя плотность — 1800 кг/м^3 .

1.20. Изготовлена серия бетонных кубиков и испытана на морозостойкость. При требуемой марке морозостойкости F50 средняя прочность

кубиков после 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания оказалась равной 24,0 МПа. Средняя прочность образцов, не подвергшихся замораживанию, но водонасыщенных, была равна 30,0 МПа.

Определить, является ли исследованный бетон морозостойким.

1.21. Кирпичный простенок после его возведения имел массу 5680 кг, а по истечении года — 5510 кг.

Определить относительную потерю простенком влаги за год и его влажность в воздушно-сухом состоянии, если масса простенка в абсолютно сухом состоянии составляет 5240 кг.

1.22. Через кубик из цементного раствора с ребром, равным 7,07 см, при давлении 0,4 МПа за 5 ч просочилось 24 г воды.

Чему равен коэффициент фильтрации цементного раствора при данном давлении воды?

1.23. Бетонная стена подвала насосной станции имеет размеры $4,5 \times 3,0 \times 0,4 \text{ м}$, находится под односторонним напором столба воды высотой 4,4 м.

Сколько воды просочится в подвал насосной станции через стену за сутки, если коэффициент фильтрации бетона при этом давлении воды равен 0,01 см/ч.

1.24. Средний (из трех) измерений предел прочности при сжатии образца камня-песчаника в сухом состоянии равен 15,1 МПа, а после насыщения водой — 13,7 МПа.

Определить коэффициент размягчения песчаника и дать заключение о его водостойкости.

1.25. Предел прочности при сжатии известняка-ракушечника в сухом состоянии равен 8,7 МПа, а коэффициент размягчения — 0,86.

Какой прочностью обладает известняк-ракушечник в насыщенном водой состоянии?

1.26. Прочность на сжатие сухого кирпича 20,0 МПа, а после насыщения его водой прочность понизилась до 12,0 МПа. При насыщении водой кирпича установлено, что его объемное водопоглощение — 20 %, а открытая пористость — 28 %. Определить, является ли данный кирпич морозостойким и можно ли его применять для фундаментов стен.

1.27. Камневидный материал в виде образца кубической формы, ребро которого равно 6,5 см, в воздушно-сухом состоянии имеет массу 495 г. Определить коэффициент теплопроводности (ориентировочный) и возможное наименование материала.

1.28. Наружная поверхность кирпичной стены толщиной 51 см имеет температуру -33°C , внутренняя $+18^{\circ}\text{C}$. Какое количество тепла проходит через 1 м^2 поверхности стены за 1 ч? Решить эту задачу для стен такой же толщины из шлакобетона и тяжелого бетона.

1.29. Рассчитать, какой толщины должна быть стено площадью 10 м^2 из керамзитобетона, если сквозь нее при разности температур 30°C за 5 ч должно проходить не более 5650 кДж тепла.

1.30. При определении коэффициента теплопроводности строительного материала в приборе установились следующие постоянные температуры на поверхностях образца: $t_1 = +100^{\circ}$, $t_2 = +20^{\circ}\text{C}$. Вычислить коэффициент теплопроводности, если площадь образца равна $0,25\text{ м}^2$, толщина образца — 5 см. Испытания продолжались 1 ч и в течение этого времени на нагревание образца было затрачено 510 кДж тепла.

1.31. Как изменится термическое сопротивление стены толщиной 50 см из плотного известняка, если его влажность по объему повысилась до 2 %? Среднюю плотность известняка принять 2000 кг/м^3 .

1.32. Свежесложенная кирпичная стена имеет влажность по массе 17 %. Какой будет удельная теплоемкость этой стены, если в сухом состоянии стена обладает удельной теплоемкостью $879,27\text{ Дж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$.

1.33. На 1 м^3 бетонной смеси расходуется 300 кг цемента, 600 кг песка, 1200 кг щебня и 150 кг(л) воды.

Вычислить коэффициент теплоемкости бетонной смеси, если коэффициенты теплоемкости цемента, песка и щебня принять одинаковыми и равными $926,18\text{ Дж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$.

1.34. Были испытаны три кубика из пенобетона разной плотности с размером ребро 10,0 см каждый. Первый кубик имел массу 683 г и показал предел прочности при сжатии 6,9 МПа, второй кубик — соответственно 296 г и 4,3 МПа, а третий — 214 г и 3,1 МПа.

Показать (графически) зависимость предела прочности пенобетона при сжатии от его пористости, принимая истинную плотность пенобетона равной $2,80\text{ г/см}^3$.

1.35. Железобетонная квадратная плита размерами $4,0 \times 4,0 \times 0,4\text{ м}$ опирается по углам на четыре кирпичных столба сечением $0,51 \times 0,51\text{ м}$ каждый. Высота столбов составляет 6,5 м. На железобетонную плиту по ее центру поставили бадью с бетонной смесью. Масса бадьи без бетона 87 кг, а объем бетонной смеси в бадье $0,85\text{ м}^3$. Определить, какому давлению подвергаются кирпичные столбы на уровне их фундамента. Средняя плотность кирпичной кладки составляет 1750 кг/м^3 , железобетона — 2500 кг/м^3 , а бетонной смеси — 2400 кг/м^3 .

1.36. Из большого куска известняка однородной структуры выпилены три кубика. Один имел размеры $10 \times 10 \times 10\text{ см}$ и при испытании на сжатие разрушился при нагрузке 809,4 кН, второй кубик имел размер ребра 7,07 см и разрушился при 453,6 кН, а третий при размерах $5 \times 5 \times 5\text{ см}$ разрушился при 302,1 кН.

Определить предел прочности известняка в каждом из образцов и объяснить причину расхождения в результатах.

1.37. Кубик из цементно-песчаного раствора с размером ребро 7,07 см и массой 710 г испытывается на круге истирания. После 1000 оборотов круга масса кубика стала равной 630 г.

Определить истираемость цементно-песчаного раствора.

2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Природные каменные материалы имеют широкое применение в гидромелиоративном и сельском строительстве. Из них возводят здания и сооружения, их используют как местный материал при изготовлении конструкций изделий, бетонных смесей и др. Каменно-набросные и каменно-земляные плотины, отстойники откосов каналов и водоемов, перекрытия рек, борьба с размывами русел требуют использования больших объемов естественного камня как строительного материала. При изучении природных каменных материалов необходимо подробно ознакомиться с генетической классификацией горных пород и свойствами основных породообразующих минералов, поскольку условия образования горной породы и ее минералогический состав — главные факторы, определяющие физико-механические свойства горной породы.

Область и масштабы применения природных каменных материалов в гидромелиоративном и сельском строительстве в качестве строительного материала для сооружений, конструкций, зданий и как сырья для производства других видов строительных материалов — вяжущих, бетона, керамики, стекла и т. д. определяются в первую очередь тем, какими они обладают физико-механическими, химическими и технологическими свойствами (средняя, насыпная и истинная плотности, гидро- и теплофизические показатели, прочность, стойкость при контактировании с различными агрессивными воздействиями и средами, степень обрабатываемости и др.). Большинство этих показателей (свойств) нормируется ГОСТами, СТБ, без знания которых трудно дать правильную оценку качеству рассматриваемых материалов, производить необходимые инженерно-технические расчеты. Предлагаемые примеры и задачи помогут овладеть такими расчетами.

Примеры

Пример 2.1. Масса образца природного камня в сухом состоянии составляет $m_{к.с} = 250$ г. При погружении образца в градуированный цилиндр с водой он поднял уровень воды на 100 см^3 . После того как образец был вынут из воды, вытерт с поверхности и сразу же погружен в цилиндр с водой, он вытеснил уже $V_k = 125 \text{ см}^3$ воды. Далее образец был высушен и насыщен водой под давлением. Количество поглощенной при этом воды составляло $m_{п.н} = 33$ г. Затем образец был снова высушен и измельчен для измерения абсолютного объема, который оказался равным $V_{к.а} = 90 \text{ см}^3$.

Вычислить среднюю плотность камня в сухом состоянии, водопоглощение по массе и объему, истинную плотность, открытую и полную пористости. Дать заключение о морозостойкости природного камня.

Решение: Объем камня будет соответствовать объему вытесненной воды, т. е. $V_k = 125 \text{ см}^3$.

Средняя плотность камня в сухом состоянии

$$\rho_{с.к} = \frac{m_{к.с}}{V_k} = \frac{250}{125} = 2,0 \text{ г/см}^3.$$

Водопоглощение по массе

$$\omega_m = \frac{m_n}{m_{к.с}} \cdot 100 = \frac{125 - 100}{250} \cdot 100 = 10 \, \%.$$

Водопоглощение по объему

$$\omega_o = \frac{m_n}{V_{к.с}} \cdot 100 = \frac{125 - 100}{125} \cdot 100 = 20 \, \%.$$

Истинная плотность природного камня

$$\rho_{и.к} = \frac{m_{к.с}}{V_{к.а}} = \frac{250}{90} = 2,78 \text{ г/см}^3.$$

Тогда полная пористость определится по формуле

$$\Pi_n = \frac{\rho_{и.к} - \rho_{с.к}}{\rho_{и.к}} \cdot 100 = \frac{2,78 - 2,0}{2,78} \cdot 100 = 28,06 \, \%.$$

Водопоглощение под давлением по объему

$$\omega_a = \frac{m_{na}}{V_k} \cdot 100 = \frac{33}{125} \cdot 100 = 26,4 \%,$$

а это соответствует открытой пористости.

Тогда открытая пористость $P_o = 26,4 \%$.

Сравнивая водопоглощение по объему и открытую пористость, видим, что $20 \% < 26,4 \cdot 0,9$, т. е. объем поглощенной воды меньше 85 % объема открытых пор, поэтому морозостойкость камня обеспечена.

Пример 2.2. Каменный материал имеет следующий химический состав: CaO — 20 %, SiO₂ — 55 %, Al₂O₃ — 5 %. Потери при прокаливании (при 1000 °С) составили 20 %. При воздействии на материал соляной кислотой обнаружено содержание углекислого кальция CaCO₃. При анализе следует считать, что других материалов, содержащих кальций, кроме CaCO₃, в составе данного каменного материала не имеется.

Определить минералогический состав, по которому установить название исследуемого материала.

Решение: Исходя из реакции при прокаливании $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ и суммы молекулярных масс, определяем содержание CaCO₃ по количеству CaO.

Молекулярные массы:

$$\text{CaCO}_3 = 40 + 12 + 3 \cdot 16 = 100,0 \text{ г/моль},$$

$$\text{CaO} = 40 + 16 = 56,0 \text{ г/моль}.$$

$$\begin{aligned} \text{Составив пропорцию } 56,0 - 20 \% \\ 100,0 - x \%, \end{aligned}$$

определим содержание CaCO₃:

$$x = \frac{20,0 \cdot 100,0}{56,0} = 35,7 \%.$$

Соответственно потеря (CO₂ = 2 + 2 · 16 = 44) при прокаливании составляет $20 \cdot \frac{44,0}{56,0} = 15,7 \%$.

Остальная часть потери при прокаливании (20 % - 15,7 % = 4,3 %) может быть отнесена за счет каолинита Al₂O₃ · 2SiO₂ · 2H₂O. Его

молекулярная масса будет равна 102 + 120 + 36 = 258 (приложение 1). Учитывая содержание Al₂O₃, равное 5 %, получим содержание

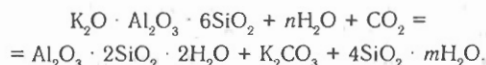
$$\text{каолинита } 5 \cdot \frac{258}{102} = 12,6 \% \text{ и кремнезема в нем } 5 \cdot \frac{120}{102} = 6,0 \%.$$

Тогда свободного кремнезема (кварца) остается 55,0 % - 6,0 % = 49,0 %.

Таким образом, исследуемый каменный материал представляет собой мергелистый песчаник, так как содержит углекислый кальций, песок (кварцевый) и глину.

Пример 2.3. Сколько образуется каолинита при полном выветривании 100 т полевого шпата (ортоклаза)?

Решение: Процесс каолинизации полевого шпата проходит по схеме



Вычисляем молекулярные массы полевого шпата:

$$M_{\text{пш}} = 2 \cdot 39,0 + 16 + 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 + 6(28 + 2 \cdot 16) = 556 \text{ г/моль};$$

каолинита:

$$M_k = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 + 2(28 + 2 \cdot 16) + 2(2 + 16) = 258 \text{ г/моль}.$$

Тогда исходя из соотношения

$$\begin{aligned} 556 - 100 \text{ т} \\ 258 - x \text{ т}, \end{aligned}$$

$$\text{получим } x = \frac{258 \cdot 100}{556} = 46,4 \text{ т каолинита}.$$

Пример 2.4. Горная порода имеет истинную плотность $\rho_n = 2,72 \text{ г/см}^3$, а пористость — $P = 24 \%$.

К какому виду (легким или тяжелым) относятся каменные материалы, полученные из этой горной породы?

Решение: Определяем среднюю плотность горной породы исходя из выражения пористости:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_n}\right) \cdot 100.$$

Тогда

$$\rho_c = \frac{\rho_n(100 - \Pi)}{100} = \frac{2,72(100 - 24)}{100} = 2,01 \text{ г/см}^3.$$

Так как полученное значение средней плотности больше 1,80 г/см³, каменные изделия из этой горной породы относятся к виду тяжелых.

Пример 2.5. При испытании на морозостойкость образцов базальта получены следующие данные: исходная масса образцов (средняя) составляла 878 г, а прочность при сжатии — 124 МПа.

После 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии масса образцов (средняя) в сухом состоянии составила 878 г, а прочность — 122,5 МПа; после 50 циклов — соответственно 876 г и 121 МПа; после 100 циклов — 865 г и 118,5 МПа, а после 150 циклов — 826 г и 91,0 МПа.

К какой марке по морозостойкости должен быть отнесен базальт?

Решение: После 25 циклов замораживания и оттаивания потеря по массе и прочности базальта составляли:

$$m_n = \frac{878 - 878}{878} \cdot 100 = 0 \%;$$

$$R_n = \frac{124,0 - 122,5}{124,0} \cdot 100 = 1,2 \%;$$

После 50 циклов:

$$m_n = \frac{878 - 876}{878} \cdot 100 = 0,2 \%;$$

$$R_n = \frac{124,0 - 121,6}{124,0} \cdot 100 = 1,9 \%;$$

После 100 циклов:

$$m_n = \frac{878 - 865}{878} \cdot 100 = 1,5 \%;$$

$$R_n = \frac{124,0 - 118,5}{124,0} \cdot 100 = 4,5 \%.$$

После 150 циклов:

$$m_n = \frac{878 - 826}{878} \cdot 100 = 6 \%;$$

$$R_n = \frac{124,0 - 91,0}{124,0} \cdot 100 = 27 \%.$$

Как известно [26], материал считается морозостойким, если потеря по массе не превышает 5 %, а по прочности — 15 %. Этим условиям соответствует доза 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания, т. е. его морозостойкость может быть оценена маркой F100.

Пример 2.6. Кусок камня массой $m_k = 207$ г вытеснил из объема $V_k = 111$ см³ воды. После выдерживания камня в воде водопоглощение по объему составило 50 %. Предел прочности при сжатии в сухом состоянии $R_c = 27$ МПа, после насыщения в воде — $R_n = 21$ МПа, после замораживания и оттаивания — $R_f = 18$ МПа. Соответствует ли по физико-механическим свойствам испытанная горная порода ГОСТ 4001-34?

Решение: Можно считать, что объем камня равен объему вытесненной им воды. Тогда средняя плотность камня

$$\rho_{с.к} = \frac{m_k}{V_k} = \frac{207}{111} = 1,86 \text{ г/см}^3 \text{ или } 1860 \text{ кг/м}^3.$$

(Если предположить, что кусок камня поглотил некоторое количество воды, его средняя плотность должна быть несколько меньше.)

Зная величину водопоглощения по объему, можно найти водопоглощение камня по массе

$$\omega_m = \frac{\omega_o}{\rho_o} = \frac{50}{1,86} = 26,88 \%.$$

Коэффициент размягчения камня

$$K_p = \frac{R_n}{R_c} = \frac{21}{27} = 0,78,$$

а потеря прочности при сжатии после испытания на морозостойкость

$$\Delta R_l = \frac{R_n - R_l}{R_n} \cdot 100 = \frac{21 - 18}{21} \cdot 100 = 14,2 \%$$

Сопоставляя полученные данные с требованиями ГОСТ 4001-84 «Камни стеновые из горных пород», можно заключить, что по всем физико-механическим показателям используемая горная порода удовлетворяет требованиям указанного стандарта.

Пример 2.7. Сухие образцы камня-известняка массой $m_k = 50$ кг и температурой $t = +15$ °С нагрели до температуры $t_k = +40$ °С, затратив 1100 кДж полезного тепла. Затем известняк охладил и погрузили в воду. После нескольких дней выдерживания в воде масса известняка стала на $m_v = 1$ кг больше. Определить удельную теплоемкость данного материала c в сухом состоянии. Изменится ли и насколько его теплоемкость после увлажнения? Вычислить объемную теплоемкость известняка.

Среднюю плотность исследуемого известняка принять $\rho_{\text{сух}} = 2000$ кг/м³.

Решение: Удельная теплоемкость определяется по формуле

$$c = \frac{Q}{m_k(t_k - t_n)} = \frac{1100}{50(40 - 15)} = 0,88 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}).$$

Водопоглощение известняка по массе после нескольких дней выдерживания в воде $\omega_m = \frac{m_v}{m_k} \cdot 100 = 2 \%$.

Коэффициент удельной теплоемкости увлажненного известняка

$$c_{\text{уд}} = c + 0,01\omega_m = 0,88 + 0,01 \cdot 2 = 0,9 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}).$$

Объемная теплоемкость сухого известняка определяется из выражения

$$c_{\text{об,сух}} = c \cdot \rho_{\text{сух}} = 0,88 \cdot 2000 = 1760,0 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}).$$

Объемная теплоемкость увлажненного известняка

$$c_{\text{об,увл}} = c_{\text{уд}} \cdot \rho_{\text{вл}} = 0,91 \cdot 2040 = 1836 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}),$$

где $\rho_{\text{вл}}$ — средняя плотность увлажненного известняка, определяемая по формуле

$$\rho_{\text{вл}} = \frac{m_k + m_v}{m_k} \cdot \rho_{\text{сух}} = \frac{50 + 1}{50} \cdot 2000 = 2040 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Пример 2.8. При испытании на сжатие образца-кубика осадочной горной породы со стороной $a = 5$ см разрушающее усилие составило $P_p = 217,5$ кН.

Определить предел прочности при сжатии, марку горной породы, а также ее коэффициент конструктивного качества (ККК), если средняя плотность $\rho_c = 2460$ кг/м³.

Решение: Определяем предел прочности при сжатии по следующей зависимости:

$$R_{\text{сж}} = \frac{F_p}{S} = \frac{2175000}{0,05^2} = 87 \cdot 10^6 \text{ Па} = 87 \text{ МПа}.$$

Следовательно, марка горной породы — М800.

Коэффициент конструктивного качества (ККК) для данной горной породы будет равен

$$\text{ККК} = \frac{R_{\text{сж}}}{\rho_c} = \frac{870}{2460} = 0,35.$$

Пример 2.9. Масса гравия фракции 10...20 мм до испытания составляла $m = 3$ кг. После испытания на гидравлическом прессе и последующего просеивания масса оставшегося гравия на сите с размером отверстия 5 мм составила 2,6 кг, на сите с размером отверстия 2,5 мм — 2,68 кг, а на сите с размером отверстия 1,25 мм — 2,75 кг.

Найти марку гравия по дробимости в цилиндре.

Решение: Дробимость гравия указанной фракции устанавливают по показателю потери массы в процентах. За потерю массы принимают суммарную массу частиц мельче 2,5 мм. Тогда

$$D_p = \frac{m - m_{2,5}}{m} = \frac{3,00 - 2,68}{3,00} \cdot 100 = 10,6 \%$$

Показатель дробимости гравия согласно ГОСТ 8269.0-97 — $D_p 12$. Марка гравия по дробимости в цилиндре равна М 800.

Задачи

2.1. Масса образца горной породы в сухом состоянии на воздухе равна 60 г. После парафинирования его поверхности масса образца в

воде составила 37 г. Расход парафина 0,6 г, а его истинная плотность 0,9 г/см³. Вычислить среднюю плотность горной породы.

2.2. Масса образца сухого известняка 300 г, а после насыщения водой — 308 г. Средняя плотность известняка 2400 кг/м³. Вычислить водопоглощение по объему и массе, абсолютную и относительную влажности, общую и открытую пористости известняка. Дать заключение о его морозостойкости.

2.3. На основании анализа образца природного камня определен его следующий химический состав: SiO₂ = 69,31 %, Al₂O₃ = 15,67 %, Na₂O = 4,12 %, K₂O = 7,72 %, H₂O = 3,18 %.

При минералогическом анализе дополнительно установлены в составе природного камня следующие минералы: кварц, альбит, полевой шпат (ортоклаз), сплюдо (мусковит).

Вычислить содержание отдельных минералов в процентах и определить (ориентировочно) название горной породы.

2.4. Горная порода содержит 78 % CoCO₃ и 20 % глинистых веществ. Как называется такая горная порода?

2.5. Кусок камня массой 201 г вытеснил из объемомера 105 г воды. После выдерживания камня в воде водопоглощение по объему составило 48 %. Предел прочности при сжатии в сухом состоянии 26 МПа, после насыщения в воде — 20 МПа, после замораживания и оттаивания — 17 МПа.

Определить его пригодность в качестве стенового материала.

2.6. Сколько щебня с пустотностью 45 % по массе и объему можно получить при дроблении глыбы горной породы объемом 10 м³ со средней плотностью 2650 кг/м³? При этом следует учесть, что потери при дроблении (в виде песка) составляют 10 % по массе.

2.7. Как изменится термическое сопротивление стены толщиной 50 см из плотного известняка, если его влажность по объему повысилась до 2 %. Среднюю плотность известняка принять равной 2000 кг/м³.

2.8. При испытании образца-цилиндра из гранита со средней плотностью 2400 кг/м³ и диаметром 5 см предел прочности при сжатии составил 60 МПа.

Определить разрушающее усилие, коэффициент конструктивного качества (ККК) и марку горной породы при сжатии.

2.9. Сухой образец известняка при испытании на сопротивление сжатию разрушился при 100 МПа. Определить предел прочности при сжатии образца в насыщенном водой состоянии, если известно, что коэффициент размягчения равен 0,6, а площадь образца в два раза больше площади поршня гидравлического пресса.

2.10. В пробе гранитного щебня было 30 % фракции 40–20 мм, 60 % фракции 20–10 мм и 10 % фракции 10–5 мм. При испытании сжатием в цилиндре для первой из этих фракций потеря массы при просеивании составило 18 %, для второй — 26, а для третьей — 32 %.

Определить марку щебня по дробимости.

2.11. Можно ли применять для устройства фундаментов во влажных грунтах бутовый камень из известняка, имеющего в сухом состоянии прочность на сжатие 101,2 МПа, а в водонасыщенном состоянии — 71,2 МПа?

2.12. Оценить эффективность природных материалов из осадочных пород: обыкновенных известняков, ракушечников и известковых туфов. Их пределы прочности на сжатие в зависимости от плотности и других факторов могут быть следующими: у обыкновенных известняков от 500 до 1000 кг/см², у ракушечников от 15 до 150 кг/см², у известковых туфов от 50 до 150 кг/см², а средние плотности соответственно 1800–2600, 800–2000 и 1300–1700 кг/м³.

Оценку эффективности вести по коэффициентам конструктивного качества ККК, определяемым отношением предела прочности материала R_k

его средней плотности ρ_c , т. е. $KKK = \frac{R_k}{\rho_c}$.

лить морозостойкость и т. д., в чем и помогут предлагаемые задачи и их решения.

3. ИСКУССТВЕННЫЕ ОБЖИГОВЫЕ (КЕРАМИЧЕСКИЕ) МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Основным сырьем для изготовления искусственных обжиговых материалов и изделий является глина. После обжига она превращается в камневидный материал (керамику) с хорошими физико-механическими свойствами.

Из керамических материалов наиболее широкое распространение имеют керамический обыкновенный кирпич и его разновидности (полнотелый, пустотелый, пористый), пустотелые керамические камни и блоки, черепица. В качестве отделочных и облицовочных материалов широко используются керамические плитки для наружных и внутренних облицовок, полов и т. п.

В водохозяйственном строительстве керамические изделия применяются в виде дренажных керамических труб и изделий для облицовки зданий и сооружений.

Таким образом, строительная керамика имеет широкое применение в строительном производстве различного назначения. В связи с этим, изучая данную тему, необходимо обратить внимание на классификацию, свойства, технологию изготовления, основные требования, предъявляемые к керамическим материалам и изделиям, показатели которых регламентируются ГОСТами и СТБ. Знание этих свойств дает возможность правильно оценить качество керамических материалов и произвести необходимые инженерно-технические расчеты. Например, знание только марки керамического обыкновенного кирпича не дает достаточных оснований для рекомендации к применению его в том или ином сооружении. Для этого необходимо уметь рассчитать пористость кирпича, опреде-

Примеры

Пример 3.1. После механического рассева глины ее гранулометрический состав характеризуется следующим образом:

фракция 5 – 0,01 мм	—	14 %;
фракция 0,01 – 0,005 мм	—	68 %;
фракция < 0,005 мм	—	18 %.

Дать характеристику глины — сырья для производства кирпича керамическим методом пластического формования.

Решение: Высокое содержание в глине пылевато-илистых частиц (0,01–0,005 мм) делает ее особо чувствительной к сушке, поэтому при производстве кирпича требуется введение отошающих добавок в виде песка или шлака, а также проведение «мягкого» режима сушки сырья.

Пример 3.2. Какое количество обыкновенного керамического кирпича можно изготовить из глины массой $m_g = 5$ т влажностью $\omega_g = 8\%$ и потерями при обжиге глиняной массы $\Pi_0 = 10\%$. Средняя плотность обыкновенного кирпича из этой глины $\rho_c = 1750$ кг/м³.

Решение: Из 5 т глины с влажностью 8 %, потерями при обжиге 10 % получится прокаленной спекшейся керамической массы

$$m_{п.г} = m_g - 0,01m_g(\omega_g + \Pi_0) = 5000 - 0,01 \cdot 5000(8 + 10) = 4100 \text{ кг.}$$

Объем прокаленной спекшейся керамической массы

$$V_{п.г} = \frac{m_{п.г}}{\rho_c} = \frac{4100}{1750} = 2,34 \text{ м}^3.$$

Объем одного керамического кирпича

$$V_k = l_k \cdot b_k \cdot h_k = 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065 = 0,00195 \text{ м}^3.$$

Тогда возможное количество керамических кирпичей из 5 т глины

$$n = \frac{V_{п.г}}{V_k} = \frac{2,34}{0,00195} = 1200 \text{ шт.}$$

Пример 3.3. Определить расход древесных опилок по массе для получения 1000 штук пористого кирпича со средней плотностью $\rho_{с.п.к} = 1210 \text{ кг/м}^3$, если средняя плотность обыкновенного керамического кирпича $\rho_{с.о.к} = 1740 \text{ кг/м}^3$. Средняя плотность опилок $\rho_{с.о} = 290 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Масса 1000 штук обыкновенного кирпича

$$m_{о.к} = 1000 \cdot l_{о.к} \cdot b_{о.к} \cdot h_{о.к} \cdot \rho_{с.о.к} = \\ = 1000 \cdot 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065 \cdot 1740 = 3393,0 \text{ кг.}$$

Масса 1000 штук пористого кирпича

$$m_{п.к} = 1000 \cdot l_{п.к} \cdot b_{п.к} \cdot h_{п.к} \cdot \rho_{с.п.к} = \\ = 1000 \cdot 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065 \cdot 1210 = 2359,5 \text{ кг.}$$

Объем пустот, создаваемый опилками в керамической массе:

$$V_n = \frac{m_{о.к} - m_{п.к}}{\rho_{с.о}} = \frac{3393,0 - 2359,5}{290} = 0,59 \text{ м}^3.$$

Необходимый расход опилок по массе

$$m_{о.и} = V_n \cdot \rho_{с.о} = 0,59 \cdot 290 = 171,1 \text{ кг.}$$

Пример 3.4. Определить по массе и объему расход глины, необходимый для изготовления 10 000 штук утолщенного кирпича средней плотностью 1400 кг/м^3 , объемом пустот $V_n = 30 \%$, если средняя плотность сырой глины $\rho_{с.г} = 1600 \text{ кг/м}^3$, влажность $\omega = 15 \%$. При обжиге сырца в печи потери при обжиге составляют $\Pi_o = 10 \%$ от массы сухой глины.

Решение: Объем одного кирпича:

без вычета пустот (брутто)

$$V_{у.к} = 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,088 = 0,00264 \text{ м}^3;$$

с вычетом пустот (нетто)

$$V'_{у.к} = V_{у.к} - \frac{V_{у.к} \cdot V_n}{100} = 0,00264 - 0,00264 \cdot 0,3 = 0,0018 \text{ м}^3.$$

Объем 10 000 штук утолщенного кирпича

$$V_{у.к}^n = V'_{у.к} \cdot n = 0,0018 \cdot 10\,000 = 18,0 \text{ м}^3.$$

Масса 10 000 штук утолщенного кирпича

$$m_{у.к}^n = V_{у.к}^n \cdot \rho_{с.у.к} = 18 \cdot 1400 = 25\,200 \text{ кг.}$$

Масса сухой не прокаленной глины, необходимой на 10 000 штук кирпича:

$$m_{с.г} = \frac{m_{у.к}^n \cdot (100 + \Pi_o)}{100} = \frac{25\,200 \cdot (100 + 10)}{100} = 27\,720 \text{ кг.}$$

Масса сырой глины, необходимой на 10 000 штук кирпича:

$$m_r = \frac{m_{с.г} \cdot (100 + \omega_r)}{100} = \frac{27\,720 \cdot (100 + 15)}{100} = 31\,878 \text{ кг.}$$

Тогда объем необходимой сырой глины

$$V_r = \frac{m_r}{\rho_{с.г}} = \frac{31\,878}{1600} = 19,92 \text{ м}^3.$$

Пример 3.5. Сколько требуется глины на изготовление 1000 штук керамических плиток для пола размерами $l_n \times b_n \times h_n = 150 \times 150 \times 13 \text{ мм}$, если пористость плиток $\Pi_n = 4,0 \%$, истинная плотность спекшейся массы — $\rho_{н.н} = 2,52 \text{ г/см}^3$, а потери при сушке и обжиге составляют $\Pi_o = 15 \%$ от массы глины?

Решение: Объем 1000 штук керамических плиток

$$V_n = 1000 \cdot l_n \cdot b_n \cdot h_n = 1000 \cdot 0,15 \cdot 0,15 \cdot 0,013 = 0,2925 \text{ м}^3.$$

Масса 1000 штук плиток

$$m_n = 1000 \cdot \frac{\rho_{н.н} \cdot V_n}{\Pi_n} = 1000 \cdot \frac{2,520 \cdot 0,2925}{1,04} = 708,75 \text{ кг.}$$

Тогда масса глины

$$m_r = m_n \cdot 1,15 = 708,75 \cdot 1,15 = 815,1 \text{ кг.}$$

Пример 3.6. В туннельной сушилке $N_k = 15$ туннелей, в каждый туннель входит $L_n = 20$ вагонеток, на вагонетке $n_c = 7$ полок, а на полку вагонетки устанавливается по $S_n = 12$ штук сырца. Срок сушки сырца в туннельной камере $t_c = 24 \text{ ч}$.

Принимается, что один туннель всегда на ремонте. Рассчитать производительность туннельных сушилок.

Решение: Для туннельной сушилки вместимость (количество штук кирпича-сырца) всех туннелей

$$Q_n = S_n \cdot n_c \cdot L_n (N_k - 1) = 12 \cdot 7 \cdot 20 \cdot (15 - 1) = 23\,520 \text{ штук.}$$

Производительность сушилки за сутки (24 часа)

$$\Pi_{\text{сут}} = \frac{Q_n \cdot 24}{t_c} = \frac{23\,520 \cdot 24}{24} = 23\,520 \text{ шт./сут.}$$

Годовая производительность

$$\Pi_r = \Pi_{\text{сут}} \cdot 365 = 8,58 \text{ млн шт./год.}$$

Пример 3.7. Установить предел прочности кирпича при изгибе, если разрушающее усилие составило $P_p = 4,0$ кН, ширина кирпича 125 мм, толщина 65 мм, расстояние между опорами 20 см.

Решение: Предел прочности при изгибе

$$R_{\text{изг}} = \frac{3P_p l}{2bh^2} = \frac{3 \cdot 40,0 \cdot 20}{2 \cdot 12,5 \cdot 6,5 \cdot 6,5} = 2,27 \text{ МПа.}$$

Пример 3.8. Определить марку кирпича согласно СТБ 1160-99, если при испытании были получены следующие результаты: предел прочности при сжатии $R_{\text{сж}} = 18,0$ МПа; минимальный предел прочности при сжатии отдельных образцов $R_{\text{сж}}^{\text{мин}} = 13,0$ МПа; предел прочности при изгибе $R_{\text{изг}} = 3,0$ МПа; минимальный предел прочности при изгибе отдельных образцов $R_{\text{изг}}^{\text{мин}} = 2,3$ МПа. Кирпича с отклонениями по внешнему виду, превышающими допускаемые требования по СТБ, имеется 8 %.

Решение: Согласно СТБ 1160-99 кирпич по пределу прочности при сжатии можно отнести к М150, по пределу прочности при изгибе также к М150, но по внешнему виду кирпич не удовлетворяет требованиям СТБ 1160-99, так как по СТБ общее количество кирпича с отклонениями, превышающими установленные нормы, допускается не более 5 %. Согласно СТБ 1160-99 партия кирпича приемке не подлежит.

Пример 3.9. Определить максимально возможное гидравлическое давление при испытании керамических канализационных труб с внутренними диаметрами:

$D_{\text{вн}} = 300$ мм с толщиной стенки 25 мм;

$D_{\text{вн}} = 400$ мм с толщиной стенки 30 мм;

$D_{\text{вн}} = 600$ мм с толщиной стенки 41 мм.

Решение: Максимальное давление определяется по формуле

$$p = \frac{200b\sigma}{D_{\text{вн}}}, \text{ МПа,}$$

где b — минимально допускаемая толщина стенки трубы, мм; σ — допустимое напряжение при испытании, равное 0,2 МПа.

Для трубы с $D_{\text{вн}} = 30,0$ см и толщиной стенки $b = 2,5$ см максимальное давление

$$p_1 = \frac{200 \cdot 2,5 \cdot 0,2}{30,0} = 3,33 \text{ МПа.}$$

Для трубы с $D_{\text{вн}} = 40,0$ см и $b = 3,0$ см

$$p_2 = \frac{200 \cdot 3,0 \cdot 0,2}{40,0} = 3,0 \text{ МПа.}$$

Для трубы с $D_{\text{вн}} = 60,0$ см и $b = 4,1$ см

$$p_3 = \frac{200 \cdot 4,1 \cdot 0,2}{60,0} = 2,73 \text{ МПа.}$$

Пример 3.10. Обыкновенный керамический кирпич стандартных размеров М 125 имеет массу $m_k = 3,3$ кг при истинной плотности $\rho_{\text{н.к}} = 2500$ кг/м³.

Определить пористость кирпича и решить вопрос о пригодности его для кладки стен жилых и гражданских зданий.

Решение: Определяем объем обыкновенного керамического кирпича

$$V_k = l_k \cdot b_k \cdot h_k = 25,0 \cdot 12,0 \cdot 0,65 = 1950 \text{ см}^3.$$

Средняя плотность кирпича

$$\rho_{\text{с.к}} = \frac{m_k}{V_k} = \frac{3300}{1950} = 1,69 \text{ г/см}^3.$$

Тогда пористость кирпича

$$\Pi_k = \left(1 - \frac{\rho_{\text{с.к}}}{\rho_{\text{н.к}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1,69}{2,5}\right) \cdot 100 = 32,4 \text{ \%}.$$

Кирпич по прочности (М 125) и по теплотехническим данным (пористость 32 %) пригоден для кладки стен жилых и гражданских зданий.

Пример 3.11. Всушенная до постоянной массы керамическая черепица имеет объем $V_k = 1,4 \text{ дм}^3$ и массу $m_k = 2,4 \text{ кг}$. В насыщенном водой состоянии ее масса $m_n = 2,67 \text{ кг}$. Истинная плотность черепицы $\rho_{н.ч} = 2,65 \text{ г/см}^3$. Рассчитать влажность черепицы, ее открытую (кажущуюся) и закрытую пористости.

Решение: Абсолютная влажность

$$W_{абс} = \frac{m_n - m_k}{m_k} \cdot 100 \% = \frac{2,67 - 2,4}{2,4} \cdot 100 \% = 11,3 \%$$

Средняя плотность

$$\rho_{с.ч} = \frac{m_k}{V_k} = \frac{2400}{1400} = 1,7 \text{ г/см}^3.$$

Общая пористость

$$П = \left(1 - \frac{\rho_{с.ч}}{\rho_{н.ч}}\right) \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{1,7}{2,65}\right) \cdot 100 \% = 35,8 \%$$

Открытая пористость соответствует объему поглощенной воды

$$П_o = \frac{m_n - m_k}{V_k} \left(\frac{2,67 - 2,4}{1,4}\right) \cdot 100 \% = 19,3 \%,$$

а закрытая пористость составляет

$$П_z = П - П_o = 35,8 - 19,3 = 16,5 \%$$

Пример 3.12. Керамический обыкновенный кирпич в сухом состоянии имеет массу $m_k = 3810 \text{ г}$ и размеры в соответствии с нормами СТБ 1160-99. Кирпич поглощает воды в количестве $\omega_o = 12,8 \%$ своего объема.

Удовлетворяет ли этот кирпич вышеуказанному СТБ по величине водопоглощения?

Решение: Определяем среднюю плотность кирпича:

$$\rho_{с.к} = \frac{m_k}{V_k} = \frac{3810}{25,0 \cdot 12,0 \cdot 6,5} = 1,95 \text{ г/см}^3.$$

Из соотношения $\rho_{с.к} = \frac{\omega_o}{\omega_m}$ находим ω_m :

$$\omega_m = \frac{\omega_o}{\rho_{с.к}} = \frac{12,8}{1,95} = 6,6 \%,$$

где ω_o и ω_m — соответственно водопоглощение по объему и массе, %.

Так как ω_m керамического кирпича меньше допускаемого СТБ минимума (8 %), кирпич требованию стандарта по величине водопоглощения не удовлетворяет.

Пример 3.13. Зерно керамзитового гравия объемом $V_k = 28 \text{ см}^3$ плавает в воде, погружаясь на 3/4 своего объема.

Определить пористость керамзита, принимая истинную плотность его равной $\rho_{н.к} = 2,66 \text{ г/см}^3$.

Водопоглощение керамзитового гравия при этом можно не учитывать.

Решение: Масса плавающего зерна керамзита равна массе (объему) вытесненной им воды, т.е.

$$m_k = V_k \cdot 3/4 = 28 \cdot 3/4 = 21 \text{ г}.$$

Средняя плотность керамзита в куске

$$\rho_{с.к} = \frac{m_k}{V_k} = \frac{21}{28} = 0,75 \text{ г/см}^3,$$

отсюда пористость керамзита

$$П_k = \left(1 - \frac{\rho_{с.к}}{\rho_{н.к}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0,75}{2,66}\right) \cdot 100 = 72 \%$$

Пример 3.14. Для покрытия кровли применяется плоская ленточная черепица, кроющие размеры которой составляют: по длине $l_{к.р} = 160 \text{ мм}$, по ширине $b_{к.р} = 155 \text{ мм}$. Масса 1 м^2 покрытия в насыщенном водой состоянии $m_n = 65 \text{ кг}$. Габаритные размеры черепицы: длина $l_v = 365 \text{ мм}$ и ширина $b_v = 155 \text{ мм}$. Полное водонасыщение черепицы $W_v = 8 \%$.

Определить количество керамической черепицы, необходимое для покрытия 10 м^2 кровли, и массу кровли.

Решение: Количество черепицы, необходимое для покрытия 1 м^2 :

$$N_{\text{ч}} = \frac{1}{F_{\text{кр}}} = \frac{1}{0,16 \cdot 0,155} = 40 \text{ шт.},$$

где $F_{\text{кр}}$ — кроющая полезная площадь одной черепицей, м².

Тогда на 10 м² кровли требуется

$$N'_{\text{ч}} = N_{\text{ч}} \cdot 10 = 40 \cdot 10 = 400 \text{ шт.}$$

Масса кровли из черепицы в насыщенном водой состоянии на 10 м² кровли

$$M_{\text{кр}} = m_{\text{н}} \cdot 10 = 65 \cdot 10 = 650 \text{ кг.}$$

Минимальная масса кровли из черепицы в сухое время года

$$M_{\text{сух}} = M_{\text{кр}} - \frac{M_{\text{кр}} \cdot W_{\text{ч}}}{100} = 650 - \frac{650 \cdot 8}{100} = 598 \text{ кг.}$$

Задачи

3.1. Сколько глины по массе и объему потребуется для приготовления 10 тыс. штук керамических камней размерами 250 × 250 × 120 мм с пустотностью 50 %. Средняя плотность керамических камней составляет 1460 кг/м³, средняя плотность глины — 1700 кг/м³, влажность глины — 22 %. Потери при прокаливании составляют 8 % от массы сухой глины, брак камней — 2 %.

3.2. Влажность глины 12 %, потери при прокаливании (п.п.) 10 % от массы сухой глины. Средняя плотность керамического кирпича, изготовленного из нее, 1700 кг/м³.

Какое количество кирпича можно получить из 10 т глины?

3.3. Требуется получить 1000 штук пористого кирпича средней плотностью 1000 кг/м³. Средняя плотность обыкновенного кирпича из этой глины 1800 кг/м³.

Рассчитать количество древесных опилок (по массе), необходимых для получения 1000 штук пористого кирпича, если средняя плотность опилок 300 кг/м³.

3.4. Сколько штук обыкновенного керамического кирпича стандартных размеров можно получить из 40 т глиняной массы влажностью 12 %, если

потери при обжиге сырца составляют 6,7 % от массы сухой глины, а средняя плотность кирпича равно 1700 кг/м³?

3.5. Рассчитать, какое количество пустотелых утолщенных кирпичей можно изготовить из 70 м³ глины при следующих исходных данных: средняя плотность кирпича 1400 кг/м³, средняя плотность влажной глины в карьере 1600 кг/м³, ее влажность 11 %, при обжиге сырца в печи потеря массы составляет 6 % от массы сухой глины, объем пустот 30 %.

3.6. Сколько штук керамических камней размерами 250 × 120 × 138 мм с пустотностью 33 % можно изготовить из 15 т глины с влажностью 12 %, потерями при прокаливании 8,5 %? Средняя плотность обыкновенного кирпича из этой глины 1750 кг/м³.

3.7. Необходимо изготовить 1000 штук кирпича со средней плотностью 1800 кг/м³ и 1000 штук пустотелых керамических камней со средней плотностью 1460 кг/м³. Средняя плотность глины 1700 кг/м³, ее влажность 18 %, а потери при прокаливании составляют 10 % от массы сухой глины. Во время изготовления, выгрузки и погрузки кирпича и камней допускается 1,5 % брака.

Сколько потребуется глины по массе и объему?

3.8. Определить расход топлива для сушки 1000 штук керамического кирпича-сырца. Температура сушки 75 °С. Начальная влажность сырца 20 %, влажность после сушки 10 %. Сырец поступает в камеру с температурой 10 °С. Масса одного кирпича после сушки 3,35 кг. Коэффициент теплоемкости сухого кирпича 837,4 Дж/(кг · °С). Потери тепло с отходящими газами и другие потери составляют 25 % от общих затрат тепло.

Рассчет топлива вести на условное топливо с теплотой сгорания 29 300 кДж/кг.

3.9. Определить предел прочности при изгибе керамической плоской плиточной черепицы, размер которой 365 × 155 мм и толщина 12 мм. Разрушающий груз при испытании на изгиб равен 70 кг, а расстояние между опорами — 30 см.

3.10. При испытании кирпича полусухого формования получены следующие результаты: средний предел прочности при сжатии 8,5 МПа, минимальный предел прочности при сжатии отдельных образцов 6,2 МПа, предел прочности при изгибе 1,5 МПа, минимальный предел прочности для отдельных образцов 0,75 МПа. Указать марку кирпича согласно с требованиями СТБ 1160–99.

3.11. При испытании керамического кирпича пластического формования получены следующие результаты: среднее значение предела прочности при сжатии отдельных образцов 12,5 МПа; предел прочности при изгибе 2,9 МПа; минимальный предел прочности при изгибе отдельных образцов 1,6 МПа; процент кирпича с отклонениями по внешнему виду, превышающими допустимые, равен 4.

Установить марку кирпича и оценить его качество в соответствии с требованиями СТБ 1160-99.

3.12. Какой марке по нормам СТБ 1160-99 удовлетворяет керамический кирпич пластического прессования, при испытании которого получены следующие данные:

№ образца	Предел прочности, МПа	
	при сжатии	при изгибе
1	13,8	1,8
2	14,5	3,1
3	13,2	2,8
4	12,1	2,4
5	10,7	1,3

3.13. Кирпич керамический обыкновенный стандартных размеров (марка 150) имеет массу в сухом состоянии 3,3 кг. Определить пористость кирпича и решить вопрос о пригодности его для кладки стен гражданских зданий, если истинная плотность кирпича равно 2450 кг/м^3 .

3.14. Массы двух образцов керамического кирпича до испытания на водопоглощение составляли по 3000 г, а после испытания — 3150 и 3270 г.

Определить показатель водопоглощения. Соответствует ли кирпич требованиям СТБ 1160-99?

3.15. При производстве керамзита используется плотная глина, имеющая среднюю плотность 2540 кг/м^3 при влажности 14,5 % (по массе). Готовый керамзитовый гравий имеет насыпную плотность 410 кг/м^3 и межзерновую пустотность 48 %.

Рассчитать, во сколько раз увеличивается объем глины при вспучивании, принимая массы глины и керамзита одинаковыми.

3.16. Рассчитать количества железнодорожных вагонов вместимостью 100 м^3 для перевозки 144 т керамзитового гравия. Средняя плотность зерен гравия 650 кг/м^3 , а его пустотность 45 %.

3.17. Определить воздушную и огневую усадку глины, применяемой для производства грубой керамики. На лабораторном образце — сырье специально нанесенная линия длиной 200 мм после сушки при температуре 160°C стала длиной 186 мм, а после обжига — 180 мм (среднее из пяти образцов).

3.18. Перечислить свойства следующего материала в соответствии с СТБ 1160-99: кирпич КРП 150/1480/25.

4. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ (ГИДРАТАЦИОННЫЕ) ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Неорганические вяжущие вещества обычно представляют собой тонкоизмельченные порошки, способные при смешивании с водой образовывать пластичное тесто, под влиянием физико-химических процессов постепенно затвердевающее и переходящее в камневидное состояние. Это свойство вяжущих веществ используют для приготовления на их основе растворов, бетона, безобжиговых искусственных каменных материалов.

Современное строительное производство располагает большим разнообразием вяжущих веществ с широким диапазоном их свойств. При изготовлении воздушных вяжущих веществ, которые преимущественно являются местными материалами и содержат в своем химическом составе CaO , CaSO_4 , Na_2O , K_2O , MgO , часто возникает необходимость в выполнении технологических расчетов по их производству (расчет необходимого количества сырья, выхода готовой продукции, количества воды для гашения извести, воды для затвердения гипса и др.) с учетом особенностей свойств каждого вяжущего вещества и области его применения в строительстве.

При использовании таких широкораспространенных гидравлических вяжущих веществ, как портландцемент и его разновидности, специальные виды цементов, в состав которых обязательно входят силикаты CaOSiO_2 , алюминаты CaOAl_2O_3 и ферриты кальция CaOFe_2O_3 , необходимо уметь правильно определить важнейшие физико-механические свойства гидравлического вяжущего вещества по минералогическому составу, водопотребности, экзотермии и другие, а также выполнить расчеты по стандартному определению свойств вяжущих веществ (нормальная плотность, сроки схватывания, марка, активность и др.), что позволяет оценить их с точки

зрения соответствия техническим требованиям, возможности применения в конкретных условиях эксплуатации.

Предлагаемые примеры и задачи окажут помощь в развитии практических навыков.

Примеры

Пример 4.1. Какая масса негашеной (комовой) извести получится при обжиге $m_n = 10$ т известняка, имеющего влажность $W_n = 5\%$? Содержание глинистых примесей составляет 10% , а песчаных — 10% .

Определить выход обожженной извести, ее активность (содержание CaO). К какому сорту будет относиться полученная комовая известь в соответствии с требованиями ГОСТ 9179-77?

Решение: Масса известняка после испарения воды

$$m_{н.в} = m_n - \frac{m_n \cdot W_n}{100} = 10\,000 - \frac{10\,000 \cdot 5}{100} = 9500 \text{ кг.}$$

Из глинистых примесей $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (молекулярные массы — $102 + 120 + 36 = 258$) происходит удаление химически связанной воды. Ее содержание в долях от единицы составит исходя из пропорции:

$$\begin{aligned} 36 - x \\ 258 - 1 \\ x = \frac{36}{259} = 0,14. \end{aligned}$$

Содержание в извести глинистых примесей после испарения воды

$$Г = 0,1 \cdot m_{н.в} (1 - 0,14) = 0,1 \cdot 9500 (1 - 0,14) = 817 \text{ кг.}$$

Содержание песчаных примесей в извести

$$П = 0,1 \cdot m_{н.в} = 0,1 \cdot 9500 = 950 \text{ кг.}$$

Масса чистого известняка CaCO_3

$$m_{ч} = m_{н.в} - (Г + П) = 9500 - (817 + 950) = 7733 \text{ кг.}$$

Реакция разложения известняка



Молекулярные массы веществ следующие:

$$100 = 56 + 44.$$

Масса извести, изготовленной из 1 т известняка:

$$И = 1000 \cdot \frac{56}{100} = 560 \text{ кг.}$$

Тогда масса чистой комовой извести

$$И_{\text{ч}} = m_{\text{ч}} \cdot 0,56 = 7733 \cdot 0,56 = 4330 \text{ кг.}$$

Выход комовой извести с учетом глинистых и песчаных примесей

$$И_{\text{к}} = И_{\text{ч}} + (Г + П) = 4330 + (817 + 950) = 6097 \text{ кг.}$$

Активность извести (содержание СаО):

$$A_{\text{и}} = \frac{И_{\text{ч}}}{И_{\text{к}}} \cdot 100 \% = \frac{4330}{6097} \cdot 100 \% = 71 \%.$$

Следовательно, известь относится к третьему сорту.

Пример 4.2. Рассчитать, сколько получится негашеной и гидратной извести («пушонки») из $m_{\text{и}} = 20$ т известняка. Содержание в известняке СаО — 85 % по массе, а его естественная влажность $W = 8$ %.

Решение: При нагревании известняка испарится воды

$$В = m_{\text{и}} \cdot \frac{W}{100} = 20\,000 \cdot 0,08 = 1600 \text{ кг (л)}.$$

Тогда сухого известняка останется

$$m_{\text{с}} = m_{\text{и}} - В = 20\,000 - 1600 = 18\,400 \text{ кг.}$$

Количество примесей в известняке

$$П_{\text{и}} = m_{\text{с}} \cdot \frac{(100 - 85)}{100} = 18\,400 \cdot 0,15 = 2760 \text{ кг.}$$

Тогда масса чистого известняка

$$m_{\text{ч}} = m_{\text{с}} - П_{\text{и}} = 18\,400 - 2760 = 15\,640 \text{ кг.}$$

Масса чистой негашеной извести, определяемой исходя из молекулярных масс следующего уравнения:



$$100 = 56 + 44$$

$$m_{\text{ч.н.и}} = m_{\text{ч}} \cdot \frac{56}{100} = 15\,640 \cdot \frac{56}{100} = 8758 \text{ кг.}$$

Однако примеси в количестве 2760 кг останутся в негашеной извести, тогда общая масса негашеной извести

$$m_{\text{о.н.и}} = m_{\text{ч.н.и}} + П_{\text{и}} = 8758 + 2760 = 11\,518 \text{ кг.}$$

Из этого количества негашеной извести можно получить гидратной извести



$$56 + 18 = 74,$$

тогда гидратной извести будет

$$m_{\text{г.и}} = m_{\text{ч.н.и}} \cdot \frac{74}{56} = 8758 \cdot \frac{74}{56} = 11\,573 \text{ кг.}$$

В состав гидратной извести также войдут примеси в количестве 2760 кг, с учетом которых общая масса гидратной извести

$$m_{\text{г.и}} = m_{\text{г.и}} + П_{\text{и}} = 11\,573 + 2760 = 14\,333 \text{ кг.}$$

Пример 4.3. Определить среднюю плотность известкового теста, если воды в нем содержится 50 % (по массе). Истинная плотность порошкообразной гидратной извести $\rho_{\text{и.и}} = 2050 \text{ кг/м}^3$.

Решение: В 1 кг известкового теста содержится 500 г извести и 500 г воды.

Абсолютный объем, занимаемый известью:

$$V_{\text{и.и}} = \frac{m_{\text{и.и}}}{\rho_{\text{и.и}}} = \frac{500}{2050} = 243,9 \text{ см}^3.$$

Объем воды $В = 500 \text{ г} = 500 \text{ см}^3$.

Тогда абсолютный объем известкового теста

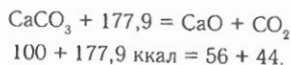
$$V_{\text{и.т}} = V_{\text{и.и}} + В = 243,9 + 500 = 743,9 \text{ см}^3.$$

Средняя плотность известкового теста

$$\rho_{\text{с.т.}} = \frac{m_{\text{н.т.}}}{V_{\text{н.т.}}} = \frac{1000}{743,9} = 1,34 \text{ г/см}^3 = 1340 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 4.4. Сколько потребуется каменного угля с теплотворной способностью 26 380 кДж/кг, чтобы получить $m_{\text{н.т.}} = 20$ т негашеной извести из чистого известняка? Известно, что на разложение 1 г/моль известняка требуется 177,9 кДж.

Решение: Для разложения 1 г/моль известняка требуется тепла исходя из уравнения



Следовательно, чтобы получить 20 т негашеной извести, требуется тепла

$$Q = \frac{M_{\text{CaCO}_3} \cdot m_{\text{н.т.}}}{M_{\text{CaO}}} \cdot q = \frac{100 \cdot 20\,000}{56} \cdot 177,9 = 6353,6 \text{ МДж}$$

$$\text{или } \frac{6353,6}{26,38} = 241 \text{ кг каменного угля.}$$

Пример 4.5. Рассчитать объем шахтной печи для получения $m_{\text{н.т.}} = 20$ т в сутки негашеной извести при условии, что средняя плотность известняка в кусках равна $\rho_{\text{с.н.}} = 1700 \text{ кг/м}^3$, топливо занимает около 25 % общего объема печи. Цикл обжига проходит за $t_{\text{обж.}} = 2$ дня.

Решение: Для получения 20 т негашеной извести в сутки необходимо обжечь известняка

$$m_{\text{н.}} = m_{\text{н.т.}} \cdot \frac{M_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaO}}} = 20 \cdot \frac{100}{56} = 35,7 \text{ т.}$$

Тогда объем известняка

$$V_{\text{н.}} = \frac{m_{\text{н.}}}{\rho_{\text{с.н.}}} = \frac{35,7}{1,7} = 21,0 \text{ м}^3.$$

Объем печи только для известняка

$$V_{\text{п.}} = V_{\text{н.}} \cdot t_{\text{обж.}} = 21 \cdot 2 = 42 \text{ м}^3.$$

С учетом объема топлива (около 25 % общего объема печи)

$$V_{\text{н.т.}} = V_{\text{н.}} + \frac{V_{\text{н.}} \cdot 25}{100} = 1,25 V_{\text{н.}} = 1,25 \cdot 42 = 52,5 \text{ м}^3.$$

Пример 4.6. Сколько потребуется гидратной извести, чтобы приготовить 1 м³ известкового теста со средней плотностью $\rho_{\text{с.}} = 1400 \text{ кг/м}^3$? Истинная плотность гидратной извести $\rho_{\text{с.г.}} = 2000 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Содержание гидратной извести в килограммах обозначим через x . Тогда количество воды

$$B = 1400 - x.$$

Сумма абсолютных объемов извести и воды равна 1 м³, тогда

$$\frac{x}{2000} + \frac{1400 - x}{1000} = 1, \text{ откуда } x = 800 \text{ кг.}$$

Таким образом, для приготовления 1 м³ известкового теста требуется 800 кг гидратной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Пример 4.7. Сколько нужно взять гидравлической добавки, чтобы полностью связать 1 часть гашеной извести, имеющей активность 80 % (содержание CaO)? Установлено, что в составе гидравлической добавки имеется 60 % активного кремнезема.

Предполагается, что в результате твердения будет образовано соединение $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ — однокальциевый гидросиликат.

Решение: Молекулярные массы предполагаемого соединения

$$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = 56 + 60 + 18 = 134 \text{ г/моль.}$$

На 1 часть негашеной извести требуется активного кремнезема

$$A_{\text{SiO}_2} = A_{\text{CaO}} \cdot 1 \cdot \frac{M_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{CaO}}} = 0,8 \cdot 1 \cdot \frac{60}{56} = 0,86.$$

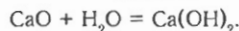
Поскольку в гидравлической добавке активный кремнезем составляет 60 %, тогда доля гидравлической добавки

$$D_r = \frac{A_{\text{SiO}_2}}{0,6} = \frac{0,86}{0,60} = 1,43.$$

Следовательно, состав смеси извести и гидравлической добавки по массе будет 1:1,43.

Пример 4.8. Какой объем известкового теста будет при гашении $m_{\text{н.и}} = 10$ т негашеной извести, если активность извести $A_{\text{и}}$ (содержание CaO) 80 %, содержание воды в тесте 50 %, средняя плотность известкового теста $\rho_{\text{с.т}} = 1400$ кг/м³.

Решение: Образование гашеной извести происходит по реакции



Молекулярные массы веществ

$$56 + 18 = 74 \text{ г/моль}.$$

При указанной активности извести масса гидроксида кальция

$$m_{\text{г.к}} = m_{\text{н.и}} \cdot \left(\frac{M_{\text{Ca(OH)}_2}}{M_{\text{CaO}}} \cdot A_{\text{и}} + \Pi_{\text{и}} \right) = 10\,000 \cdot \left(\frac{74}{56} \cdot 0,8 + 0,2 \right) = 12\,571 \text{ кг},$$

где $m_{\text{н.и}}$ — масса негашеной извести, кг; $A_{\text{и}}$ — активность извести; $\Pi_{\text{и}}$ — содержание примесей в извести.

В известковом тесте известь и вода составляют по 50 % массы. Тогда масса теста

$$m_{\text{т}} = m_{\text{г.к}} \cdot 2 = 12\,571 \cdot 2 = 25\,142 \text{ кг},$$

а его объем

$$V_{\text{т}} = \frac{m_{\text{т}}}{\rho_{\text{с.т}}} = \frac{25\,142}{1400} = 17,96 \text{ м}^3.$$

Пример 4.9. Определить количество связанной воды в процентах при полной гидратации $m_{\text{н.г}} = 1$ т полуводного гипса.

Решение: В 1000 кг полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ (молекулярная масса $40 + 32 + 64 + 1 + 8 = 145$) имеется воды $0,5\text{H}_2\text{O}$ (молекулярная масса $1 + 8 = 9$).

Тогда из условия

$$\begin{aligned} 145 - 1000 \\ 9 - x \\ x = \frac{9000}{145} = 62 \text{ л или } 62 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Для образования двухводного гипса воды потребуются дополнительно $1,5\text{H}_2\text{O}$ или $62 \cdot 3 = 186$ л или 186 кг.

Тогда масса полностью гидратированного гипса

$$m_{\text{г.г}} = m_{\text{н.г}} + B_{\text{д.г}} = 1000 + 186 = 1186 \text{ кг}.$$

Количество воды в двухводном гипсе

$$B_{\text{д.г}} = B_{\text{д.г}} + B_{\text{н.г}} = 186 + 62 = 248 \text{ л или } 248 \text{ кг},$$

что составляет

$$\begin{aligned} 1186 - 100 \% \\ 248 - x \\ x = \frac{24\,800}{1186} = 20,9 \%. \end{aligned}$$

Пример 4.10. Нормальная густота гипсового теста равна 59 %. Сколько необходимо взять гипса и воды для получения $m_{\text{г.т}} = 10$ кг гипсового теста нормальной густоты?

Решение: Если обозначить через x необходимое количество гипса, то масса воды составит $0,59x$.

В сумме должно быть 10 кг, т.е.

$$x + 0,59x = 10.$$

Тогда масса гипса $x = \frac{10}{1,59} = 6,3$ кг.

Воды необходимо

$$B = m_{\text{г.т}} - m_{\text{г}} = 10 - 6,3 = 3,7 \text{ кг}.$$

Пример 4.11. Для затвердения $m_{\text{г}} = 5$ кг строительного гипса надо 65 % воды.

Определить пористость полученной абсолютно сухой гипсовой отливки при условии, что весь гипс состоял из полугидрата, а средняя плотность сырой отливки равна $\rho_{\text{с.г.о}} = 2,1$ г/см³.

Решение: Масса воды затворения

$$m_{\text{в.з}} = \frac{m_{\text{г}} \cdot 65}{100} = 5 \cdot 0,65 = 3,25 \text{ кг}.$$

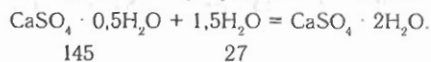
Масса сырой отливки

$$m_{\text{г.о}} = m_{\text{г}} + m_{\text{в}} = 5 + 3,25 = 8,25 \text{ кг} = 8250 \text{ г}.$$

Тогда объем отливки (сырой)

$$V_{г.о} = \frac{m_{г.о}}{\rho_{г.о}} = \frac{8250}{2,1} = 3928,6 \text{ см}^3.$$

Определяем массу воды, вступившей в химическую реакцию, по уравнению и исходя из молекулярных масс входящих веществ:



Составив пропорцию

$$\begin{array}{l} 145 - 27 \\ 5 - x, \end{array}$$

находим

$$x = m_в = \frac{m_r - M_в}{M_r} = \frac{5 \cdot 27}{145} = 0,93 \text{ кг}.$$

Осталось несвязанной воды

$$m_{в.н} = m_{в.з} - m_в = 3,25 - 0,93 = 2,32 \text{ кг} = 2320 \text{ г}.$$

При испарении этой воды образуются поры общим объемом $V_n = m_{в.н} = 2320 \text{ см}^3$, поэтому пористость гипсовой отливки

$$\Pi_{г.о} = \frac{V_n}{V_{г.о}} \cdot 100 = \frac{2320}{3928,6} \cdot 100 = 59 \text{ \%}.$$

Пример 4.12. При испытании гипсового вяжущего вещества было установлено: тонкость помола — остаток на сите № 02 — 10 % (по массе), предел прочности при сжатии трех образцов через 2 ч после изготовления — 5,2; 4,8 и 5,0 МПа.

К какой марке можно отнести гипсовое вяжущее вещество?

Решение: Согласно ГОСТ 26871-86 гипсовое вяжущее вещество имеет марку Г-5-II, так как требования к тонкости помола для второй группы: остаток на сите № 02 (918 отв/см²) должен быть не больше 14 %.

Предел прочности при сжатии для этого гипса — 5,0 МПа, а согласно указанному стандарту для гипса марки Г-5 в возрасте 2 ч он должен быть не меньше 5,0 МПа.

Пример 4.13. Определить пористость затвердевшего гипсового вяжущего, если водогипсовое отношение $B/\Gamma = 0,7$. Истинная плотность гипса $\rho_{н.г} = 2,7 \text{ г/см}^3$.

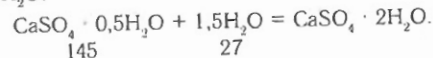
Решение: Для определения пористости затвердевшего гипса определим его истинную и среднюю плотности.

Истинная плотность затвердевшего гипса

$$\rho_{н.г} = \frac{m_{г.н}}{V_{г.н}},$$

где $m_{г.н}$ — суммарная масса гипса и химически связанной воды в единице абсолютного объема $V_{г.н}$.

Содержание химически связанной воды $B_{св}$ легко найти из уравнения гидратации основного компонента строительного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$:



Исходя из пропорции

$$\begin{array}{l} 145 - 100 \\ 27 - x(B_{св}), \\ B_{св} = \frac{27 \cdot 100}{145} = 18,6 \text{ \%}. \end{array}$$

Предположим, что плотность химически связанной воды $\rho_{в} = 1 \text{ г/см}^3$, тогда

$$\rho_{н.г} = \frac{2,7 + 2,7 \cdot 0,186}{1 + 2,7 \cdot 0,186} = 2,13 \text{ г/см}^3.$$

Средняя плотность затвердевшего гипса

$$\rho_{с.г} = \frac{m_{г.з}}{V},$$

где V — объем с учетом пор, образовавшихся избыточной водой:

$$\rho_{с.г} = \frac{2,7 + 2,7 \cdot 0,186}{1 + 2,7 \cdot 0,7} = 1,1 \text{ г/см}^3.$$

Пористость затвердевшего гипса

$$\Pi_r = \left(1 - \frac{\rho_{с.г}}{\rho_{н.г}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1,1}{2,13}\right) \cdot 100 = 48 \text{ \%}.$$

Пример 4.14. Сколько потребуется кремнефтористого натрия для связывания $m_{ж.с} = 10 \text{ кг}$ жидкого стекла? Содержание в жидком стекле Na_2O — 12 %, а SiO_2 — 30,8 %.

Решение: Требуемое количество Na_2SiF_6 (% от жидкого стекла) для натриевого стекла можно установить по формуле

$$x = \frac{94,03}{62 + 60,06} \cdot b,$$

где $b = \text{Na}_2\text{O} + \text{SiO}_2$ — содержание окиси натрия и кремнезема в жидком стекле, %.

Тогда

$$x = \frac{94,03}{62 + 60,06} (12 + 30,8) = \frac{94,03}{62 + 60,6} \cdot 42,8 = 32,97 \, \%.$$

В количественном отношении кремнефтористого натрия потребуется 3,297 кг.

Пример 4.15. Сколько тонн каустического магнезита можно получить при обжиге $m_m = 15$ т природного магнезита, содержащего 8 % (по массе) неразлагающихся примесей?

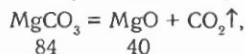
Решение: Масса чистого магнезита

$$m_{\text{ч.м}} = m_m (1 - 0,08) = m_m \cdot 0,92 = 15 \cdot 0,92 = 13,8 \, \text{т}.$$

Тогда примесей

$$m_{\text{п}} = m_m - m_{\text{ч.м}} = 15 - 13,8 = 1,2 \, \text{т}.$$

При обжиге магнезита происходит следующая реакция:



где внизу проставлены молекулярные массы веществ, отсюда

$$x = m_{\text{MgO}} = \frac{84 - 40}{13,8 - x} = 6,57 \, \text{т}.$$

Вместе с примесями масса каустического магнезита

$$m_{\text{к.м}} = m_{\text{MgO}} + m_{\text{п}} = 6,57 + 1,2 = 7,77 \, \text{т}.$$

Пример 4.16. Для получения магнезимального вяжущего вещества расходуется (по массе) 65 % чистого каустического магнезита (MgO) и 35 % $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Сколько необходимо взять каустического магнезита, содержащего 85 % активной MgO , и сколько литров водного раствора MgCl_2 , содержащего 410 г $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в одном литре, чтобы получить 50 кг магнезимального вяжущего вещества (в расчете на чистые компоненты)?

Решение: Определяем, сколько MgO и $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ должно содержаться в 50 кг вяжущего вещества.

Массу MgO определим из пропорции

$$50 \, \text{кг} - 100 \, \%$$

$$x_{\text{MgO}} \, \text{кг} - 65 \, \%.$$

Тогда

$$x_{\text{MgO}} = \frac{50 \cdot 65}{100} = 32,5 \, \text{кг}.$$

Количественно

$$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 50 - 32,5 = 17,5 \, \text{кг}.$$

Чтобы обеспечить массу чистой MgO , которой содержится 85 % в каустическом магнезите, необходимо взять указанного магнезита

$$m_{\text{к.м}} = \frac{x_{\text{MgO}}}{0,85} = \frac{32,5}{0,85} = 38,2 \, \text{кг}.$$

Водного раствора MgCl_2 , содержащего 410 г $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, необходимо взять

$$m_{\text{р}} = \frac{17,5}{0,41} = 42,7 \, \text{л}.$$

Пример 4.17. Определить массу раствора хлористого магния и его истинную плотность для затворения магнезита с содержанием MgO — 85 %. Для получения теста на основе магнезита требуется 52 % воды по массе. Предполагаем, что весь свободный магнезит вступает в реакцию с хлористым магнием, образуя $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Средняя плотность хлористого магния $1,6 \, \text{г/см}^3$.

Решение: Молекулярная масса соединения



$$121 + 95,3 + 108.$$

Тогда на 1,0 кг магнезита требуется хлористого магния

$$m_{\text{х.м}} = m_{\text{м}} \cdot 0,85 \cdot \frac{(M_{\text{MgCl}_2} + M_{\text{6H}_2\text{O}})}{M_{\text{3MgO}}} = 1,0 \cdot 0,85 \cdot \frac{(95,3 + 108)}{121} = 1,43 \text{ кг.}$$

Для получения магнезитового теста из 1 кг магнезита требуется воды

$$m_{\text{в}} = m_{\text{м}} \cdot 0,52 = 1,0 \cdot 0,52 = 0,521 \text{ или } 0,52 \text{ кг.}$$

Масса раствора хлористого магния

$$m_{\text{р.х.м}} = m_{\text{х.м}} + m_{\text{в}} = 1,43 + 0,52 = 1,95 \text{ кг.}$$

На единицу магнезита (1,0 кг) объем раствора хлористого магния

$$V_{\text{р.х.м}} = \frac{m_{\text{х.м}}}{\rho_{\text{с.х.м}}} + 0,52 = \frac{1,43}{1,6} + 0,52 = 1,41 \text{ дм}^3.$$

Средняя плотность раствора хлористого магния

$$\rho_{\text{с.р.х.м}} = \frac{m_{\text{р.х.м}}}{V_{\text{р.х.м}}} = \frac{1,95}{1,41} = 1,38 \text{ кг/дм}^3 = 1,38 \text{ г/см}^3.$$

Пример 4.18. Сколько следует добавить трепела к портландцементу М 600, чтобы получить пуццолановый портландцемент М 400? Предполагается, что трепел не участвует в реакции образования цементного камня до 28-суточного возраста.

Решение: Для получения пуццоланового портландцемента М 400 необходимо добавить следующее количество компонентов к портландцементу М 600:

$$\text{клинкера Кл} = \frac{400}{600} \cdot 100 = 66,7 \%;$$

$$\text{трепела Тр} = 100 - K_{\text{а}} = 100 - 66,7 = 33,3 \%.$$

Пример 4.19. Даны два вида портландцемента одинаковой тонкости помола следующего минералогического состава (без добавок):

№ цемента	Минералогический состав, %			
	3CaO · SiO ₂ (C ₃ S)	2CaO · SiO ₂ (C ₂ S)	3CaO · Al ₂ O ₃ (C ₃ A)	4CaO · Al ₂ O ₃ · Fe ₂ O ₃ (C ₄ AF)
1	58	16	12	12
2	32	58	4	10

Необходимо привести характеристику основных свойств портландцементов и составить рекомендации об областях их рационального применения в строительстве.

Решение: Цемент № 1 по минералогическому составу является алюминатно-алитовым, поэтому следует ожидать, что он будет быстротвердеющим, высокопрочным и высокоэкзотермичным. При термической обработке бетонов на этом цементе следует ожидать значительного недобора прочности по сравнению с прочностью бетона при нормальном твердении (через 28 суток).

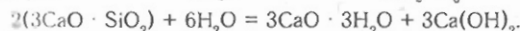
Исходя из этого, цемент № 1 рекомендуется применять для бетонов немассивных конструкций, где необходим быстрый рост прочности в нормальных условиях твердения, а также для конструкций, бетонируемых в зимних условиях. Для бетона массивных конструкций, а также подвергаемых теплообработке цемент № 1 применять не рекомендуется.

Цемент № 2 является белитовым, поэтому характеризуется замедленным твердением (особенно в ранние сроки), значительно более низкой экзотермией и весьма эффективным твердением при теплообработке.

Этот цемент, наоборот, рекомендуется применять для массивных бетонных конструкций, а также для пропариваемого сборного железобетона.

Пример 4.20. Какое количество Ca(OH)₂ выделится при полной гидратации 1 кг портландцемента, содержащего 95 % клинкера? Содержание основных минералов в клинкере, %: C₃S — 57; C₂S — 33; C₄A — 7; C₃AF — 11. Какое количество добавки трепела с содержанием SiO₂ = 72 % необходимо для полного связывания выделяемого Ca(OH)₂?

Решение: Выделение гидроксида кальция идет в основном в результате гидролиза при гидратации C₃S. Наиболее вероятная при обычных условиях схема гидратации 3CaO · SiO₂ (C₃S):



Молекулярные массы

$$2(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) = 2(120 + 48 + 28 + 32) = 456 \text{ г/моль,}$$

$$3\text{Ca(OH)}_2 = 120 + 102 = 222 \text{ г/моль.}$$

Тогда количество выделяемого Ca(OH)_2 при гидратации можно найти из пропорций

$$\begin{aligned} 456 \text{ г } (3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) - 222 \text{ г } [\text{Ca(OH)}_2] \\ 0,95 \cdot 0,57 \cdot 1000 \text{ г} - x \text{ г.} \end{aligned}$$

Отсюда

$$x_{\text{Ca(OH)}_2} = \frac{(0,95 \cdot 0,57 \cdot 1000) \cdot 222}{456} = 264 \text{ г.}$$

При взаимодействии Ca(OH)_2 с кремнеземом трепела можно предположить образование однокальциевого гидросиликата



Для связывания 1 моля, т. е. 74 г Ca(OH)_2 , требуется 1 моль, т. е. 60 г SiO_2 , а для 264 г Ca(OH)_2 — x г SiO_2 .

Тогда

$$x_{\text{SiO}_2} \frac{264 \cdot 60}{74} = 214,05 \text{ г.}$$

Для полного связывания выделяемого Ca(OH)_2 при гидратации 1 кг портландцемента необходимо трепела

$$T_p = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{0,72} = \frac{214,05}{0,72} = 297 \text{ г.}$$

Пример 4.21. Указать конечные продукты клинкерных минералов при гидролизе и гидратации портландцемента и определить содержание химически связанной воды для цементного камня, приготовленного из портландцемента, имеющего следующий минералогический состав: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) — 50 %, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S) — 25 %, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) — 5 %, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) — 18 %.

Решение: Условно принимаем, что в процессе твердения портландцементного клинкера происходят следующие реакции:

- $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{Ca(OH)}_2;$
- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O};$
- $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O};$
- $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}.$

Процентное содержание воды в каждом соединении с учетом молекулярных масс входящих веществ будет составлять:

1. Для $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$:

$$3(40 + 16) + (28 + 32) + 5(2 + 16) = 318; 5(2 + 16) = 90; \\ B = \frac{90}{318} \cdot 100 = 28,3 \text{ \%}.$$

2. Для $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$:

$$2(40 + 16) + (28 + 32) + 2(2 + 16) = 208; 2(2 + 16) = 36; \\ B = \frac{36}{208} \cdot 100 = 17,3 \text{ \%}.$$

3. Для $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$:

$$3(40 + 16) + (53,94 + 48) + 6(2 + 16) = 378; 6(2 + 16) = 108; \\ B = \frac{108}{378} \cdot 100 = 28,5 \text{ \%}.$$

4. Для $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$:

$$4(40 + 16) + (53,94 + 48) + (111,68 + 48) + 2(2 + 16) = 633; \\ 2(2 + 16) = 36; \\ B = \frac{36}{633} \cdot 100 = 5,68 \text{ \%}.$$

Количество воды для твердения данного состава цемента:

$$1. \text{ Для } \text{C}_3\text{S} = 50 \text{ \%}; B_1 = \frac{50 \cdot 28,3}{100} = 14,15 \text{ \%};$$

$$2. \text{ Для } \text{C}_2\text{S} = 25 \text{ \%}; B_2 = \frac{25 \cdot 17,3}{100} = 4,3 \text{ \%};$$

$$3. \text{ Для } \text{C}_3\text{A} = 5 \text{ \%}; B_3 = \frac{5 \cdot 28,5}{100} = 1,4 \text{ \%};$$

$$4. \text{ Для } \text{C}_4\text{AF} = 18 \text{ \%}; B_4 = \frac{18 \cdot 5,68}{100} = 1,02 \text{ \%}.$$

Всего воды $B = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 = 14,15 + 4,3 + 1,4 + 1,02 = 20,87$ или 21 %.

При затворении цемента воды для получения пластичного цементного теста потребуется больше.

Пример 4.22. Для производства портландцемента имеем известняк и глину следующего химического состава:

Наименование	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Известняк	48	5	8	1	0,7
Глина	6	1	55	10	6

Подсчитать, в какой пропорции должны быть взяты известняк и глина, чтобы получить портландцемент с коэффициентом насыщения 0,90:

$$K_n = \frac{\text{CaO} - 1,65\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3}{2,8\text{SiO}_2} = 0,90.$$

Объяснить, почему сумма соединений в составе сырья не равна 100 %.

Решение: Соотношение глины к известняку обозначим через 1 : x, тогда получим:

$$K_n = \frac{\text{CaO} - 1,65\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3}{2,8\text{SiO}_2} = \frac{6 + 48x - 1,65(10 + x) - 0,35(6 + 0,7x)}{2,8(55 + 8x)} = 0,90;$$

Решая данное уравнение, получим $x = 5,8$.

Соотношение глины к известняку будет 1:5,8.

Сумма соединений в составе сырья не равна 100 %, поскольку соединения, приведенные в таблице, даны в виде оксидов, а в природе эти соединения встречаются в виде углекислых или водных соединений.

Пример 4.23. Определить активность цемента, состоящего из 70 % портландцемента марки М 400 и 30 % молотого известняка. Молотый известняк является добавкой-наполнителем.

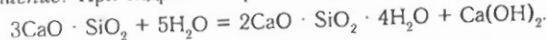
Решение: Активность смешанного цемента

$$R_{\text{см}} = 0,7R_n = 0,7 \cdot 400 = 280 \text{ МПа}.$$

Пример 4.24. Рассчитать, в каком соотношении следует смешать портландцемент и кремнеземистые отходы, содержащие 22 % ак-

тивного кремнезема, чтобы он соединился со свободной известью полностью и образовался однокальцевый гидросиликат. Содержание трехкальцевого силиката в портландцементе составляет 56 %.

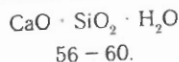
Решение: При гидролизе трехкальцевого силиката по реакции



Сумма молекулярных масс равна $228 + 90 = 244 + 74$, а количество выделившейся извести по отношению к массе цемента составляет

$$m_n = 56 \frac{M_{\text{Ca}(\text{OH})_2}}{M_{3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2}} = 56 \frac{74}{228} = 18,2 \, \%.$$

В однокальцевом силикате известь и кремнезем, согласно молекулярным массам входящих веществ, соединяются в отношении



Тогда потребуется кремнезема

$$\% (\text{SiO}_2) = \% (\text{CaO}) \cdot \frac{60}{56} = 18,2 \cdot \frac{60}{56} = 19,5 \, \%.$$

в всей гидравлической добавке, содержащей 22 % активного кремнезема:

$$\begin{aligned} \% (\text{гидравлической добавки}) &= \% (\text{SiO}_2) \cdot \frac{100}{22} = \\ &= 19,5 \cdot \frac{100}{22} = 89 \, \% \text{ от массы цемента.} \end{aligned}$$

Отсюда отношение портландцемента к гидравлической добавке по массе составляет

$$1 : 0,89.$$

Тогда пушчолановый портландцемент должен содержать портландцементного клинкера

$$\% (\text{портландцементного клинкера}) = 100 \cdot \frac{1,0}{1,89} = 53,$$

а гидравлической добавки

$$\% (\text{гидравлической добавки}) = 100 \cdot \frac{0,89}{1,89} = 47.$$

Пример 4.25. У какого из цемента наиболее полно используются вяжущие свойства? При приготовлении бетонов применялись шлакопортландцемент и пуццолановый цемент. Расход цемента для состава № 1 и № 2 соответственно составлял $\Pi_1 = 320$ и $\Pi_2 = 350$ кг/м³. Предел прочности при сжатии стандартных кубов в возрасте 28 суток был соответственно $R_1 = 26,8$ и $R_2 = 24,7$ МПа, количество химически связанной воды — $B'_{xc} = 0,12$ и $B'_{xc} = 0,11$, а степень гидратации цемента — $\alpha_1 = 0,3$ и $\alpha_2 = 0,29$.

Решение: Определяем коэффициенты K_1 и K_2 использования вяжущих свойств цемента в бетонах состава № 1 и № 2:

$$K_1 = \frac{R}{(\Pi \cdot B_{xc})};$$

$$K_2 = \frac{R}{(\Pi \cdot \alpha)},$$

где R — предел прочности при сжатии бетона или цементного камня, МПа; Π — расход цемента, кг/м³; B_{xc} — количество химически связанной цементной воды, в долях от массы цемента; α — степень гидратации цемента.

Для состава бетона на шлакопортландцементе

$$K_1 = \frac{26,8}{320 \cdot 0,12} = 0,7 \text{ и } K_2 = \frac{26,8}{320 \cdot 0,3} = 0,28.$$

Для состава бетона на пуццолановом цементе

$$K_1 = \frac{24,7}{350 \cdot 0,11} = 0,64 \text{ и } K_2 = \frac{24,7}{350 \cdot 0,29} = 0,27.$$

Коэффициенты K_1 и K_2 больше у бетона состава № 1, поэтому вяжущие свойства шлакопортландцемента используются более полно.

Пример 4.26. Цемент при полной гидратации связывает 15 % воды по отношению к массе цемента. Определить пористость цементного камня из теста с $B/\Pi = 0,38$, если степень гидратации составит $\alpha = 35$ %. Истинная плотность цемента $\rho_{ц.к} = 3,1$ г/см³.

Решение: Абсолютный объем цементного теста из единицы массы цемента

$$V_{ц.т} = \frac{1}{\rho_{ц.т}} + \frac{B}{\Pi} = \frac{1}{3,1} + 0,38 = 0,703.$$

Абсолютный объем цементного камня

$$V_{ц.к} = \frac{1}{\rho_{ц.к}} + \alpha \left(\frac{B}{\Pi} \right)_{св} = \frac{1}{3,1} + 0,35 \cdot 0,15 = 0,375,$$

где α — коэффициент, учитывающий степень гидратации цемента.

Тогда пористость цементного камня

$$\Pi = \left(1 - \frac{V_{ц.к}}{V_{ц.т}} \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0,375}{0,703} \right) \cdot 100 = 46,7 \, \%.$$

Пример 4.27. Содержание воды в тесте из шлакопортландцемента 12 %, а для прохождения реакций гидролиза и гидратации требуется 18 % воды. Истинная плотность шлакопортландцемента — $\rho_{ц.к} = 2950$ кг/м³. Определить пористость цементного камня.

Решение: Состав цементного теста (по массе) $\Pi : B = 1 : 0,42$. Абсолютный объем, занимаемый цементным тестом:

$$V_{ц.т} = \frac{m_{ц.т}}{\rho_{ц.т}} + 0,42 = \frac{1000}{2950} + 0,42 = 0,76 \text{ м}^3.$$

Абсолютный объем, занимаемый цементным камнем:

$$V_{ц.к} = \frac{m_{ц.к}}{\rho_{ц.к}} + 0,18 = \frac{1000}{2950} + 0,18 = 0,52 \text{ м}^3.$$

Относительная плотность цементного камня

$$\rho_{о.ц.к} = \frac{V_{ц.к}}{V_{ц.т}} = \frac{0,52}{0,76} = 0,68.$$

Тогда пористость цементного камня

$$\Pi = (1 - \rho_{о.ц.к}) \cdot 100 = (1 - 0,68) \cdot 100 = 32 \, \%.$$

Пример 4.28. При испытании образцов-балочек размерами $10 \times 10 \times 160$ мм на изгиб в возрасте 28 суток получены следующие результаты $R_{изг}$: 5,8; 6,0; 6,1 МПа. Разрушающее усилие при испытании половинок балочек на сжатие составляло $R_{сж}$: 120; 125; 127,5; 130; 132; 134 кН.

Определить марку портландцемента.

Решение: Согласно СТБ ЕН 196-1-2000 предел прочности при изгибе принимают как среднее значение из двух наибольших показателей прочности:

$$R_{изг} = \left(\frac{R_2 + R_3}{2} \right) = \frac{6,0 + 6,1}{2} = 6,05 \text{ МПа.}$$

Предел прочности при сжатии находят как среднее из четырех наибольших значений показателей прочности. Последнее определяют как частное от деления разрушающего усилия на площадь пластинки ($4 \times 6,25 \text{ см} = 25 \text{ см}^2$), через которую передают нагрузку на половину балочки. Произведя расчеты, получают результаты в МПа: 48,0; 50,0; 51,0; 53,0; 52,8; 53,6.

Среднее арифметическое из четырех наибольших результатов

$$R_{ср.сж} = \frac{R_{сж}^3 + R_{сж}^4 + R_{сж}^5 + R_{сж}^6}{4} = \frac{51,0 + 53,0 + 52,8 + 53,6}{4} = 52,6 \text{ МПа.}$$

Цемент по пределу прочности при изгибе и сжатии соответствует М 500.

Пример 4.29. При испытании цементных образцов-балочек размерами $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$ в возрасте 7 суток показатели предела прочности при изгибе $R_{изг}$: 3,6; 3,4; 3,0 МПа. Среднеарифметическое значение предела прочности при сжатии составило $R_{ср.сж} = 29,6 \text{ МПа}$.

Определить марку цемента.

Решение: Среднеарифметическое значение предела прочности при изгибе

$$R_{изг} = \frac{\Sigma R_{1,2}}{2} = \frac{3,6 + 3,4}{2} = 3,5 \text{ МПа.}$$

Зависимость между маркой цемента и пределом прочности образцов в возрасте 7 суток имеет логарифмический характер, т.е.

$$R_{изг.н} = R_{изг}^{28} \cdot \frac{\lg 7}{\lg 28}.$$

Подставляя известные показатели, получаем:

$$R_{изг}^{28} = R_{изг} \cdot \frac{\lg 28}{\lg 7};$$

$$3,5 = R_{изг}^{28} \cdot \frac{0,846}{1,447}.$$

Тогда

$$R_{изг}^{28} = \frac{3,5}{0,58} = 6,0 \text{ МПа.}$$

Прочность при сжатии в возрасте 28 суток

$$R_{сж}^{28} = \frac{29,6}{0,58} = 51 \text{ МПа,}$$

где 0,58 — коэффициент перехода, найденный для $R_{изг}^{28}$.
Ожидаемая марка цемента М 500.

Задачи

- Сколько воздушной комовой извести («кипелки») можно получить при обжиге 50 т чистого известняка влажностью 10 %?
- Рассчитать, сколько получится гидратной извести из 15 т известняка. Содержание в известняке CaO — 85 % по массе, а его естественная влажность — 6 %.
- Какое количество сухого гидроксида кальция («пушонки») можно получить при гашении 15 т негашеной извести с активностью 90 %?
- Производится обжиг 300 г известняка, имеющего влажность 9 %, содержание глинистых примесей 6 % и песчаных примесей 4 %. Каковы масса и сорт получаемой комовой извести?
- Определить, сколько можно получить негашеной извести в сутки, если обжигать известняк в шахтной печи объемом 50 м^3 . Топливо в печи занимает 20 % общего объема печи, а средняя плотность известняка в сутки равна 1600 кг/м^3 . Цикл обжига проходит в течение 3 суток.
- Сколько потребуется времени для обжига известняка в шахтной печи объемом 50 м^3 ? Топливо в печи занимает 20 % общего объема.

Средняя плотность известняка 1600 кг/м^3 . Требуется получить 12 т негашеной извести (CaO).

4.7. Определить содержание в 1 м^3 известкового теста гидроксида кальция и воды, если средняя плотность известкового теста равна 1400 кг/м^3 , а истинная плотность гидроксида кальция — 2050 кг/м^3 .

4.8. Какой будет выход известкового теста по массе и объему из 1 т негашеной извести, если она имеет активность (содержание CaO) 70 %? Содержание воды в тесте 50 % от общего веса, а средняя плотность известкового теста — 1400 кг/м^3 .

4.9. Определить вместимость твoriльной ямы для гашения 120 т негашеной извести, если активность извести равна 80 %, содержание воды в тесте — 50 %, средняя плотность известкового теста — 1400 кг/м^3 .

4.10. При затворении гипсового вяжущего вещества разным количеством воды получено гипсовое тесто следующей консистенции:

№ опыта	Взято, г		Расплав лепешки по Суттарду, мм
	гипса	воды	
1	300	150	99
2	300	165	121
3	300	175	147

Рассчитать нормальную густоту гипсового теста по ГОСТ 26871-86.

4.11. Нормальная густота теста (НГ) у технического (высокопрочного) гипса составляет 44 %, а у гипсового вяжущего вещества — 67 %.

Рассчитать, к какой марке относится технический гипс, если прочность гипсового вяжущего вещества в кубиках, высушенных до постоянной массы, равна 110 кг/см^2 и увеличивается в среднем на 9 кг/см^2 при уменьшении $\text{НГ}_{\text{т}}$ на каждый процент (принято условно).

4.12. Сколько получится гипса-полуангидрата и растворимого ангидрита из 1 т гипсового камня, не содержащего примесей?

4.13. Назвать условное обозначение гипсового вяжущего вещества с перечисленными далее показателями. Сроки схватывания: начало — 20 мин, конец — 120 мин. Остаток на сите № 02 — 12 %. Прочность образцов-балочек размерами $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$ в возрасте 2 ч: на изгиб $6,7 \text{ МПа}$, на сжатие $19,8 \text{ МПа}$.

4.14. Сколько полуводного (строительного) гипса можно получить после термической обработки 50 т гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$? Молекулярные массы элементов приведены в приложении 1.

4.15. Определить среднюю плотность и пористость гипсовых плит для перегородок с влажностью после сушки 12 % (от массы сухого материала). При твердении гипса объем увеличивается на 1 %. Истинная плотность полуводного гипса — $2,6 \text{ г/см}^3$, а истинная плотность затвердевшего гипса — $2,3 \text{ г/см}^3$. Состав гипсового теста по массе: 1 часть полуводного гипса и 0,5 г воды.

4.16. Определить массу воды, которая необходима для получения раствора жидкого стекла плотностью 1370 кг/м^3 , если на строительной площадке имеется 10 л раствора такого стекла плотностью 1500 кг/м^3 .

4.17. Сколько следует взять каустического доломита вместо 1 кг каустического магнезита, чтобы получить вяжущее вещество одинаковой активности? Каустический доломит содержит 8 % примесей по массе.

4.18. Рассчитать, сколько $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ необходимо для затворения 10 кг MgO , если известно, что в процессе твердения 70 % магнезита гидратируется до $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и 30 % магнезита расходуется на образование хлоридов магния $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

4.19. Какое количество ангидритового цемента CaSO_4 возможно изготовить при обжиге 200 т гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$? При этом необходимо учесть, что в ангидритовый цемент вводят 20 % добавок-катализаторов (воздушная известь, бисульфат натрия, обожженный доломит, гранулированный доменный шлак).

4.20. Определить начало и конец схватывания портландцемента нормальной густоты, если при проведении серии опытов игла прибора Вика не доходит до пластинки на 1 мм в 13 ч 30 мин, на 3 мм — в 14 ч 10 мин, на 6 мм — в 14 ч 40 мин и, наконец, входит в цементное тесто на 3 мм в 21 ч 10 мин, на 1 мм — в 22 ч 00 мин, при начале затворения — в 12 ч 20 мин.

4.21. При просеивании 50 г портландцемента через сито с сеткой № 008 остаток на сите составил 5,8 г. При дальнейшем просеивании

количество цемента, проходившего сквозь сито за каждую минуту, составляло 0,03 г.

Удовлетворяет ли портландцемент требованию СТБ ЕН 196-6-2000 по тонкости помола?

4.22. Рассчитать среднюю плотность цементного теста, полученного из портландцемента с В/Ц = 0,34, при истинной плотности цемента 3,1 г/см³.

4.23. В каком соотношении необходимо смешать известняк с содержанием CaCO_3 , равным 91 %, и глину с содержанием CaCO_3 , равным 31 %, чтобы получить сырьевую смесь для портландцемента с содержанием CaCO_3 , равным 76 %.

4.24. Рассчитать, в каком отношении следует принять портландцемент и доменные гранулированные шлаки, содержащие 30 % активного кремнезема, чтобы кремнезем соединился со свободной известью в однокальциевый гидросиликат. Содержание трехкальцевого силиката в портландцементе составляет 59 %.

4.25. Какое количество добавки ЛСТ следует ввести для приготовления 10 т пластифицированного портландцемента? Добавки ЛСТ содержат 50 % твердого вещества и 50 % воды, оптимальное содержание ее составляет 0,2 % от массы цемента (на сухое вещество).

4.26. Какое количество мылонафта 3-го сорта (гидрофобная добавка) гипса, трепела и клинкера потребуется для получения 10 т гидрофобного портландцемента, если установлено, что при помоле нужно вводить в мельницу 0,15 %-го мылонафта от массы клинкера, 5 %-го двуводного гипса и 10 %-го трепела?

4.27. Какой должна быть активность клинкера портландцемента для получения пуццоланового портландцемента М 500, состоящего из 75 % клинкера и 25 % трепела? Принимаем, что при твердении цементного камня до 28 суток добавка трепела не вступает в реакцию.

4.28. Сколько следует взять портландцемента и гидравлической добавки, чтобы получить 5 т пуццоланового цемента, при гидратации которого известь будет полностью связана гидравлической добавкой? Установлено, что гидравлическая добавка содержит 60 % активного кремнезема, а содержание трехкальцевого силиката в портландцементе составляет 57 %.

4.29. Подсчитать выход цементного теста нормальной густоты для портландцемента и шлакопортландцемента, если нормальная густота цемента соответственно составляет 23 и 30 %, а истинная плотность соответственно равна 3,05 и 2,9 г/см³.

4.30. Приготавливая бетон одной марки, используют два вида цемента (шлакопортландцемент и портландцемент) одинаковой активности (марки), но с разными показателями нормальной густоты цементного теста — 24 и 30 % соответственно.

Как сказывается переход от одного вида цемента к другому по удобоукладываемости?

4.31. Тесто из портландцемента, затворенного водой в количестве 16 %, твердело в нормальных условиях. Такое же тесто из цемента, затворенного 40 % воды, твердело на воздухе после 3 суток выдерживания во влажной среде. Содержание химически связанной воды при твердении в нормальных условиях составляет 20 %, при твердении на воздухе она уменьшается на 25 %.

Определить и сравнить пористость цементного камня в обоих случаях.

4.32. Какой пористостью будет обладать цементный камень, если при затворении цементного теста В/Ц составляло 0,45, а за время твердения химически связалось 18 % всей воды, а остальная вода испарилась? Истинная плотность цемента равна 3,1 г/см³.

4.33. Определить пористость цементного камня, если цементное тесто содержало 32 % воды по отношению к массе портландцемента. Количество химически связанной портландцементом воды 14 %, а истинная плотность цемента 3,1 г/см³. Изменение объема цементного камня не учитывать.

4.34. Рассчитать, сколько свободной извести Ca(OH)_2 выделится при гидратации 10 кг портландцемента (без активных минеральных добавок), содержащего 54 % C_3S , если гидролиз алита прошел на 65 %?

Определить процентное отношение свободной извести к исходной массе цемента.

4.35. Сколько воды сможет химически связать 5 кг цемента следующего минералогического состава, %: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) — 58, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

(C_2S) — 16, $3CaO \cdot Al_2O_3$ (C_3A) — 12 и $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_4AF) — 2 за 28 суток твердения, если за этот срок C_3S будет гидролизован на 70 %, C_2S будет гидратирован на 22 %, C_3A — на 95 % и C_4AF — на 78 %?

Гидратацию остальных компонентов цемента в расчет можно не принимать.

4.36. Образцы-балочки размерами 40 x 40 x 160 мм, изготовленные из пластичного цементного раствора на вольском песке состава 1:3 по массе, были испытаны на изгиб, а половинки балочек — на сжатие в возрасте 28 суток. При испытании на изгиб получены следующие результаты: 5,1, 5,4 и 5,6 МПа. Разрушающие усилия при испытании на сжатие составили: 108,5; 110,0; 95,0; 106,5 и 96,0 кН.

Определить марку портландцемента.

4.37. Установить марку портландцемента, если при испытании образцов-балочек размерами 40 x 40 x 160 мм в возрасте 14 суток предел прочности при изгибе составил 4,4 МПа, а при сжатии — 32 МПа.

4.38. При испытании глиноземистого цемента предел прочности при сжатии в возрасте 1 суток был 25 МПа, а в возрасте 3 суток — 46 МПа. Какова марка глиноземистого цемента?

5. БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

Бетон представляет собой искусственный каменный материал, получаемый в результате твердения правильно подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси, состоящей из вяжущего вещества, заполнителей (песка, щебня или гравия), воды и в отдельных случаях некоторых видов добавок. Смесь из вышеуказанных компонентов до затвердения называется бетонной.

Составляющие бетона, используемые для его приготовления, определяют состав, физико-механические свойства, стойкость и долговечность бетона, а также оказывают определенное влияние на технологический процесс изготовления изделий.

В связи с этим чрезвычайно важно иметь практические навыки как и оценке качества отдельных составляющих бетона, так и в расчетах по проектированию их состава.

Необходимо также уметь рассчитывать потребные количества материала для заданного объема бетонных работ при известном составе бетона.

В строительной практике часто имеют место случаи, когда некоторые из ранее запроектированных компонентов бетона заменяются другими, отличающимися от первых по качеству. В таких случаях нужно уметь ввести в состав бетона необходимые коррективы с учетом составов отдельных новых компонентов, в чем и могут оказать помощь предлагаемые примеры и задачи и их решения.

Мелкий заполнитель. В качестве мелкого заполнителя при приготовлении бетонов обычно используют природный или искусственный песок в виде рыхлой смеси зерен крупностью до 5 мм, образовавшейся в результате естественного разрушения или дробления твердых горных пород.

Важной характеристикой песка является его зерновой состав, сильно влияющий на подвижность и жесткость бетонной смеси, ее формуемость и расход цемента. Характеристиками зернового состава песка служат его модуль крупности M_k и кривые просеивания.

Примеры

Пример 5.1. Зерновой состав песков № 1 и № 2 приведен в табл. 5.1. Определить полные остатки, модуль крупности и пригодность песков для приготовления бетона.

Таблица 5.1. Зерновой состав песков № 1 и № 2 в виде частных остатков, %

№ песка	Размеры отверстий сит, мм						прошло через сито с размером отверстий 0,16
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
1	—	3	22	20	36	11	7,8
2	—	1,5	11	12	26	37	12,4

Решение: Полный остаток A_i на каждом сите определяем как сумму частных остатков на всех ситах с большим размером отверстий плюс остаток на данном сите по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} + \dots + a_i$$

Полные остатки для песка № 1, %:

$$A_{2,5} = 3; A_{1,25} = 3 + 22 = 25;$$

$$A_{0,63} = 3 + 22 + 20 = 45;$$

$$A_{0,315} = 3 + 22 + 20 + 36 = 81;$$

$$A_{0,16} = 3 + 22 + 20 + 36 + 11 = 92.$$

Полные остатки для песка № 2, %:

$$A_{2,5} = 1,5; A_{1,25} = 1,5 + 11 = 12,5;$$

$$A_{0,63} = 1,5 + 11 + 12 = 24,5;$$

$$A_{0,315} = 1,5 + 11 + 12 + 26 = 50,5;$$

$$A_{0,16} = 1,5 + 11 + 12 + 26 + 37 = 87,5.$$

Модуль крупности:

для песка № 1

$$M_k' = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100} = \frac{(3 + 25 + 45 + 81 + 92)}{100} = 2,46;$$

для песка № 2

$$M_k'' = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100} = \frac{(1,5 + 12,5 + 24,5 + 50,5 + 87,5)}{100} = 1,77.$$

Анализируя полученные значения по полному остатку на сите с размером отверстия 0,63 мм и модулю крупности, отметим: песок № 1 пригоден для приготовления бетона. Песок № 2 относится к группе мелких песков, поэтому его зерновой состав следует улучшить добавкой крупнозернистого песка или каменных высеков.

Пример 5.2. Два вида песка с приблизительно одинаковым модулем крупности имеют истинную плотность $\rho_{н.н} = 2,64 \text{ г/см}^3$, а среднюю плотность $\rho'_{н.н} = 1,64 \text{ г/см}^3$ и $\rho''_{н.н} = 1,52 \text{ г/см}^3$.

Какой из этих песков предпочтительнее в качестве мелкого заполнителя для бетона и почему?

Решение: Определяем пустотность каждого вида песка:

$$\Pi_1 = \left(1 - \frac{\rho'_{н.н}}{\rho_{н.н}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1,64}{2,64}\right) \cdot 100 = 38 \%;$$

$$\Pi_2 = \left(1 - \frac{\rho''_{н.н}}{\rho_{н.н}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{1,52}{2,64}\right) \cdot 100 = 42 \%.$$

Песок первого вида, обладающий меньшей пустотностью, более предпочтителен для бетона, так как потребует меньшего расхода цемента на 1 м^3 бетона.

Пример 5.3. В двух стеклянных мерных цилиндрах производилось определение набухания песка при насыщении водой по ГОСТ 8736-93. Исходный объем уплотненного песка в каждом из цилиндров состав-

лял $V = 5 \text{ см}^3$, после набухания в воде в течение 15 ч объем песка составлял $V_1 = 6,0$ и $V_2 = 6,01 \text{ см}^3$.

Определить приращение объема песка при набухании.

Решение: Приращение объема песка за счет его набухания при насыщении водой:

в первом цилиндре

$$\Delta V_1 = \frac{(V_1 - V)}{V} \cdot 100 = \frac{6,0 - 5,0}{5,0} \cdot 100 = 20 \%;$$

во втором цилиндре

$$\Delta V_2 = \frac{(V_2 - V)}{V} \cdot 100 = \frac{6,01 - 5,0}{5,0} \cdot 100 = 20,2 \%.$$

Тогда в среднем приращение объема песка за счет его набухания составит

$$\Delta V = \frac{\Delta V_1 + \Delta V_2}{2} = \frac{20,0 + 20,2}{2} = 20,1 \%.$$

Пример 5.4. Рассчитать приращение объема песка при увлажнении его до 2 и 6 %, если насыпная плотность песка в сухом состоянии $\rho_{н,с} = 1490 \text{ кг/м}^3$, а во влажном состоянии — соответственно $\rho'_{н,в} = 1195$ и $\rho''_{н,в} = 1155 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Масса 1 м^3 песка при влажности соответственно 2 и 6 %:

$$m'_в = m_c \cdot 1,02 = 1490 \cdot 1,02 = 1520 \text{ кг};$$

$$m''_в = m_c \cdot 1,06 = 1490 \cdot 1,06 = 1579 \text{ кг}.$$

Объем влажного песка:

$$V'_в = \frac{m'_в}{\rho'_{н,в}} = \frac{1520}{1195} = 1,27 \text{ м}^3;$$

$$V''_в = \frac{m''_в}{\rho''_{н,в}} = \frac{1579}{1155} = 1,27 \text{ м}^3.$$

Тогда приращение объема песка:

$$\Delta V' = V'_в - V_c = 1,27 - 1,0 = 0,27 \text{ м}^3;$$

$$\Delta V'' = V''_в - V_c = 1,37 - 1,0 = 0,37 \text{ м}^3.$$

Пример 5.5. Цементное тесто при $(B/C)_ц = 0,26$ и цементно-песчаный раствор состава 1:2 по массе при $(B/C)_р = 0,42$ имели одинаковый распыл конуса на стандартном встряхивающем столике. Стандартные образцы из раствора, испытанные в возрасте 28 суток, показали средний предел прочности при сжатии $R_{ср,р} = 31,6 \text{ МПа}$. Использованный цемент имел активность $R_ц = 42 \text{ МПа}$. Определить водопотребность песка и коэффициент качества песка.

Решение: Водопотребность песка

$$B_n = \frac{(B/C)_р - (B/C)_ц}{n} \cdot 100 = \frac{(0,42 - 0,26)}{2} \cdot 100 = 8 \%.$$

Коэффициент качества песка

$$A_n = \frac{R_p}{R_ц [(C/B)_р - 0,5]} = \frac{31,6}{42(2,38 - 0,5)} = 0,4,$$

где $(C/B)_р = 1 : (B/C)_р = 1 : 0,42 = 2,38$.

Пример 5.6. Вычислить влажность песка по результатам следующего опыта. Навеска влажного песка $m_в = 1 \text{ кг}$ погружена в мерный цилиндр емкостью 1 л, наполненный водой до отметки 0,5 л. Вода в нем в результате этого поднялась до отметки 0,92 л. Ранее определена истинная плотность песка $\rho_{н,л} = 2,60 \text{ кг/л}$.

Решение: Увеличение уровня воды в мерном сосуде при погружении песка

$$\Delta V = V_{вл} - V_в = 0,92 - 0,5 = 0,42 \text{ л}.$$

Масса сухого песка $m_c = m_в - m_c W$, откуда

$$m_c = \frac{m_в}{1 + W}.$$

$$\text{Абсолютный объем песка } V_{а,л} = \frac{m_c}{\rho_{н,л}} = \frac{m_в}{(1 + W)\rho_{н,л}},$$

где $m_в = 1 \text{ кг}$ — масса влажного песка; W — влажность песка в долях от массы сухого песка.

Объем воды во влажном песке до погружения его в воду

$$V_{\text{н.в.}} = \frac{m_{\text{в.}}}{1 + W} \cdot W.$$

Увеличение уровня воды в цилиндре произошло за счет вытеснения ее абсолютным объемом песка и объемом воды в песке:

$$\Delta V = V_{\text{п.п.}} + V_{\text{н.в.}} \cdot \frac{m_{\text{в.}}}{(1 + W)\rho_{\text{н.п.}}} + \frac{m_{\text{в.}}}{1 + W} \cdot W.$$

Решая это уравнение относительно W , получим

$$W = \frac{\Delta V \rho_{\text{н.п.}} - m_{\text{в.}}}{\rho_{\text{н.п.}}(m_{\text{в.}} - \Delta V)} = \frac{0,42 \cdot 2,6 - 1}{2,6(1 - 0,42)} = 0,061 \text{ или } 6,1 \, \%.$$

Пример 5.7. Водоцементное отношение стандартного раствора на вольском песке состава 1 : 2 (распыл конуса на встряхивающем столике, равный 170 мм) $(B/C)_{\text{в.р.}} = 0,42$, а раствора на исследуемом песке — $(B/C)_{\text{ис.р.}} = 0,48$. Какова водопотребность песка? Дать характеристику песка.

Решение: Водопотребность песка

$$W_{\text{п.}} = \frac{(B/C)_{\text{ис.р.}} - (B/C)_{\text{в.р.}}}{2} 100 + 4 = \frac{0,48 - 0,42}{2} 100 + 4 = 7 \, \%.$$

Песок среднезернистый.

Задачи

5.1. По гранулометрическому составу песков (частные остатки, %), приведенному в табл. 5.2, дать заключение об их соответствии требованиям ГОСТ 8736-93. Определить пустотность песков и модуль крупности, если истинная плотность песка № 1 (№ 2) — 2680 (2650) кг/м³, насыпная плотность песка № 1 (№ 2) — 1560 (1390) кг/м³.

Таблица 5.2. Гранулометрический состав песков

№ песка	Размеры отверстий сит, мм					
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
1	—	8,6	32,0	—	20,0	13,0
2	—	0,6	4,0	8,4	41,0	29,0

5.2. Пользуясь данными табл. 5.3, вычислить полные остатки, модуль крупности и определить пригодность песка № 1 и № 2 для приготовления бетона.

Таблица 5.3. Зерновой состав песков в виде частных остатков, %

№ песка	Размеры отверстий сит, мм						прошло через сито с размером отверстий 0,16
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
1	—	0,8	3,2	1,1	29,0	51,2	14,7
2	—	1,9	12	13,2	24,3	37,1	11,5
3	—	2,5	24	19	29	9	16,5
4	—	6	29	26	24	10,2	4,8
5	—	0,3	0,8	2	18	58,2	20,7
6	6,1	12,3	28,8	31,1	12,4	5,3	3,0

5.3. Построить кривые просеивания песка № 3 и № 4, подсчитать полные остатки на ситах, и нанести их на график. Определить модуль крупности песков. Зерновой состав песков в виде частных остатков принять по данным табл. 5.3.

5.4. Подсчитать полные остатки на стандартных ситах и модуль крупности песка № 6, приняв зерновой состав песка по данным табл. 5.3.

5.5. Определить полный остаток на сите 0,315 мм, модуль крупности песка, а также его пригодность для приготовления бетона при следующих значениях частных остатков на ситах:

Размеры отверстий сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Прошло через сито с размером отверстий 0,16
Частные остатки, г	150	250	200	150	150	100

5.6. Модуль крупности песка есть частное от деления на 100 суммы его полных остатков (выраженных в процентах), начиная с сита с размером отверстий 2,5 мм и кончая ситом с размером отверстий 0,14 мм:

$$M_{\text{кр}} = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100},$$

где $A_{2,5}$; $A_{1,25}$ и т. д. — полные остатки на ситах, %.

Вывести формулу для определения модуля крупности песка по частным остаткам.

5.7. Масса пробы сухого песка перед мокрым просеиванием была равна 1000 г, а после мокрого просеивания высушенный песок имел массу 928 г. Пригоден ли этот песок для бетона согласно требованиям ГОСТ 8736-93?

5.8. Как изменится расход влажного песка по массе при приготовлении строительного раствора, если сухого песка по расчету требовалось 1580 кг/м³, а производственный песок имел влажность 5 %?

5.9. Рассчитать приращение объема песка от увлажнения его до влажности 10 %, если насыпная плотность сухого песка 1550 кг/м³, а влажного — 1280 кг/м³.

5.10. На основании проведенных испытаний установлено: песок среднезернистый влажностью 5,6 % имеет насыпную плотность 1,56 г/см³ и пустотность 39 %.

Определить, до какой отметки поднимается вода в мерном цилиндре емкостью 1,0 л, наполненном водой до отметки 0,6 л, если в него будет погружена навеска влажного песка массой 1,0 кг.

5.11. Насыпная плотность сухого песка 1510 кг/м³. Подсчитать насыпную плотность песка при увлажнении его до 6 %, если известно, что при влажности 6 % объем песка на 27 % больше по сравнению с сухим.

5.12. Насколько увеличится объем 50 т песка при увлажнении до 5 %, если насыпная плотность сухого песка 1450 кг/м³, а увлажненного — 1200 кг/м³?

Крупный заполнитель. В качестве крупного заполнителя при приготовлении бетона применяют гравий и щебень из горных пород и щебень из гравия. Гравий представляет собой рыхлую смесь выветрившихся горных пород. Щебень получают путем дробления плотных горных пород и гравия. При приготовлении бетонов могут также использоваться гравийно-песчаные смеси, щебень из пористых пород (туфа, пемзы и др.), искусственные пористые заполнители (керамзит, аглопорит и др.) и заполнители из отходов промышленности (шлаков, отходов горнорудной промышленности и др.). Заполнители снижают расход вяжущего вещества в бетоне, уменьшают усадку и ползучесть бетона. Пористые заполнители в бетоне улучшают его теплотехнические свойства.

Наибольшее влияние на свойства бетона оказывает зерновой состав крупного заполнителя. В зависимости от крупности зерен щебень (гравий) подразделяют на фракции: 5...10, 10...20, 20...40, 40...70, 70...120. Зерновой состав заполнителя определяют просеиванием через набор сит с отверстиями d , $0,5(d + D)$, D , $1,25D$. Если заполнитель загрязнен примесями, то пробу при расसेве одновременно промывают водой. По полученным данным строят кривую просеивания заполнителя и наносят ее на график. По расположению кривой просеивания на графике делают заключение о пригодности щебня для приготовления бетона.

Примеры

Пример 5.8. При определении истинной плотности гранитного щебня взята навеска высушенного щебня $m_{\text{ш}} = 3$ кг и всыпана в металлический сосуд. Этот сосуд со щебнем заполняется затем доверху водой. Общая масса сосуда, щебня и воды оказалась равной $m_{\text{в.д}} = 7,8$ кг. После опорожнения сосуд снова был заполнен водой и взвешен. Масса воды и сосуда оказалась равной $m_{\text{в.с}} = 5,91$ кг.

Вычислить истинную плотность щебня, если масса металлического сосуда $m_c = 1$ кг. Учитывая, что водопоглощение гранита в обычных условиях 0,4 % по массе, а под давлением — 0,8 %, установить точность определения истинной плотности таким способом. Вычислить среднюю плотность щебня в куске.

Решение: Масса воды, дополняющая объем щебня до полного объема сосуда:

$$m_{\text{в.д}} = m_{\text{о.с}} - m_{\text{ш}} - m_c = 7,8 - 3,0 - 1,0 = 3,8 \text{ кг.}$$

Масса воды в сосуде

$$m_{\text{в}}^c = m_{\text{в.с}} - m_c = 5,91 - 1,0 = 4,91 \text{ кг.}$$

Масса воды, вытесненная щебнем:

$$m_{\text{в}}^{\text{ш}} = m_{\text{в}}^c - m_{\text{в.д}} = 4,91 - 3,8 = 1,11 \text{ кг,}$$

равная объему щебня $V_{\text{ш}} = 1,11 \text{ дм}^3$.

Истинная плотность гранитного щебня

$$\rho_{\text{н.ш}} = \frac{m_{\text{ш}}}{V_{\text{ш}}} = \frac{3,0}{1,11} = 2,73 \text{ кг/дм}^3.$$

При водопоглощении гранитного щебня 0,4 % масса поглощенной воды

$$m_{в.щ} = \frac{m_{щ} \cdot \omega_{щ}}{100} = \frac{3 \cdot 0,4}{100} = 0,012 \text{ кг или } 0,012 \text{ дм}^3,$$

что составляет примерно 1,08 % объема щебня.

Следовательно, ошибка в определении истинной плотности щебня составляет примерно 1,08 %.

Тогда истинная плотность гранитного щебня

$$\rho'_{н.щ} = \rho_{н.щ} \cdot 1,08 = 2,7 \cdot 1,08 = 2,92 \text{ кг/дм}^3.$$

Если принять пористость гранита равной его полному водопоглощению, т. е. 0,8 %, то средняя плотность сухого щебня в куске

$$\rho_{с.щ} = \rho_{н.щ} \cdot (1 - 0,008) = 2,73(1 - 0,008) = 2,68 \text{ кг/дм}^3.$$

Пример 5.9. Зерновой состав щебня № 1 и № 2 в виде частных остатков на ситах приведен в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Зерновой состав щебня в виде частных остатков, %

№ щебня	Размеры отверстий сит, мм					
	40	30	20	10	5	3
1	—	—	—	48	35	13
2	3	—	7	26	44	20

Определить полные остатки на ситах, а также наибольшую и наименьшую крупность зерен щебня, которые необходимы для установления его зернового состава.

Решение: Полные остатки на ситах определяются, %:
для щебня № 1

$$A_{10} = 48; A_5 = 48 + 35; A_3 = 83 + 13 = 96;$$

для щебня № 2

$$A_{40} = 3; A_{20} = 3 + 7 = 10; A_{10} = 10 + 26 = 36;$$

$$A_5 = 36 + 44 = 80; A_3 = 80 + 20 = 100.$$

Наибольшая крупность зерен щебня $D_{н.щ}$ соответствует размеру отверстий сит, полный остаток которых не превышает 5 %. Для

щебня № 1 и № 2 $D_{н.щ}$ соответственно равна 20 и 40 мм. Наименьшая крупность зерен щебня $D_{н.щ}$ соответствует размеру отверстий сит, полный остаток на котором составляет не менее 95 %. Для щебня № 1 и № 2 $D_{н.щ} = 3$ мм.

Для щебня № 1 $0,5(D_{н.щ} + D_{н.щ}) = 0,5(20 + 3) = 11,5$ мм.

Принимаем сито с отверстием 10 мм. Для щебня № 2 $0,5(D_{н.щ} + D_{н.щ}) = 0,5(40 + 3) = 21,5$ мм. Принимаем сито с отверстием 20 мм. Для щебня № 1 $1,25D_{н.щ} = 1,25 \cdot 20 = 25$ мм и щебня № 2 $1,25D_{н.щ} = 1,25 \cdot 40 = 50$ мм. Принимаем соответственно сита с отверстиями 40 и 70 мм.

Пример 5.10. Определить расход щебня на 1 м³ бетона, если в заполненных бункерах склада завода с суточным выпуском бетонной смеси $V_{сут} = 300$ м³ хранится $V_0 = 1800$ м³ щебня, рассчитанного на $T = 7$ суток работы, насыпной плотностью $\rho_{н.щ} = 1450$ кг/м³. Коэффициент производственных потерь щебня при транспортировке 1,02.

Решение: Суточный расход щебня на заводе

$$m_{щ} = \frac{V_0}{T} \cdot \rho_{н.щ} = \frac{1800}{7} \cdot 1450 = 372\,857 \text{ кг.}$$

Для выпуска 1 м³ бетонной смеси расходуется щебня

$$m'_{щ} = \frac{m_{щ}}{V_{сут}} = \frac{372\,857}{300} = 1243 \text{ кг.}$$

Расход щебня на 1 м³ без учета производственных потерь при транспортировке

$$m_{щ.п} = \frac{m'_{щ}}{1,02} = \frac{1243}{1,02} = 1219 \text{ кг.}$$

Пример 5.11. Расход щебня на 1 м³ бетона составляет $m_{щ} = 1450$ кг. Насыпная плотность щебня $\rho_{н.щ} = 1550$ кг/м³. Истинная плотность горной породы, из которой получен щебень, $\rho_{н.щ} = 2650$ кг/м³. Определить расход щебня в бетоне по объему в естественном состоянии и в абсолютно плотном состоянии.

Решение: Расход щебня по объему

$$V_{щ} = \frac{m_{щ}}{\rho_{н.щ}} = \frac{1450}{1550} = 0,94 \text{ м}^3.$$

Объем щебня в абсолютно плотном состоянии

$$V_{\text{в.щ}} = \frac{m_{\text{щ}}}{\rho_{\text{н.щ}}} = \frac{1450}{2650} = 0,55 \text{ м}^3.$$

Пример 5.12. Определить оптимальное соотношение между песком и гравием по массе для получения наиболее плотной смеси заполнителей для бетона, если известна истинная плотность песка $\rho_{\text{н.п}} = 2600 \text{ кг/м}^3$, насыпная плотность гравия $\rho_{\text{н.г}} = 1670 \text{ кг/м}^3$ и истинная плотность гравия $\rho_{\text{н.г}} = 2620 \text{ кг/м}^3$. Коэффициент раздвижки зерен гравия принять равным $\alpha = 1,1$.

Решение: Оптимальным будет соотношение между песком и гравием, когда песок заполнит пустоты в гравии с раздвижкой $\alpha = 1,1$, т.е.

$$\frac{\Pi}{\rho_{\text{н.п}}} = V_{\text{пуст}} \left(\frac{\Gamma}{\rho_{\text{н.г}}} \right) \cdot \alpha.$$

Отсюда

$$\frac{\Pi}{\Gamma} = V_{\text{пуст}} \left(\frac{\rho_{\text{н.п}}}{\rho_{\text{н.г}}} \right) \cdot \alpha = 0,363 \cdot \left(\frac{2600}{2620} \right) \cdot 1,1 = 0,396,$$

где Π и Γ — масса песка и гравия, кг; $\rho_{\text{н.п}}$ и $\rho_{\text{н.г}}$ — истинная плотность соответственно песка и гравия; $V_{\text{пуст}}$ — пустотность гравия.

$$V_{\text{пуст}} = \frac{1 - \rho_{\text{с.г}}}{\rho_{\text{н.г}}} = \frac{1 - 1670}{2620} = 0,363.$$

Пример 5.13. Бетонная смесь, приготовленная на кварцевом песке и гранитном щебне, состава $1 : 2 : 3,5$ при $(B/C)_0 = 0,55$, имела осадку стандартного конуса такую же, как и растворная смесь состава $1 : 2$ при $(B/C)_p = 0,43$. Прочность бетона в возрасте 28 суток, определенная по результатам испытания стандартных образцов $R_b = 43,2 \text{ МПа}$. Активность цемента $R_u = 56,0 \text{ МПа}$. Определить водопотребность и коэффициент прочности щебня.

Решение: Водопотребность щебня

$$B_{\text{щ}} = \left[\left(\frac{B}{C} \right)_0 - \left(\frac{B}{C} \right)_p \right] \cdot \frac{100}{3,5} = (0,55 - 0,43) \cdot \frac{100}{3,5} = 3,4 \text{ \%}.$$

Коэффициент прочности щебня

$$A_{\text{щ}} = \frac{R_b}{R_u} \left[\left(\frac{C}{B} \right)_0 - 0,5 \right] = \frac{43,2}{56,0} (1,82 - 0,5) = 0,58,$$

$$\text{где } \left(\frac{C}{B} \right)_0 = 1 : \left(\frac{B}{C} \right)_0 = 1 : 0,55 = 1,82.$$

Пример 5.14. Подобрать крупный заполнитель для изготовления сборных железобетонных колонн и плит покрытия сельскохозяйственного здания. Сечение колонн $400 \times 600 \text{ мм}$, марка бетона 500, минимальное расстояние между арматурными стержнями 60 мм. Толщина плиты покрытия 100 мм, марка бетона 300, минимальное расстояние между арматурными стержнями 40 мм. Свойства щебня приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5. Свойства щебня

№ щебня	Вид щебня	Фракция, мм	Марка по дробности в цилиндре
1	Известняковый	5...10	500
2	Гранитный	5...20	1000
3	»	20...40	800
4	Известняковый	10...20	700

Решение: Для изготовления железобетонных колонн выбираем щебень № 2, так как его марка 1000 в два раза больше марки бетона 500, а наибольшая крупность 20 мм — меньше минимального расстояния между арматурными стержнями. Плиты покрытия следует изготовить на щебне № 4, так как его марка 700 больше чем в два раза превышает марку бетона 300, а наибольшая крупность 20 мм — меньше минимального расстояния между арматурными стержнями плиты.

Задачи

5.13. Определить наибольшую и наименьшую крупности зерен щебня, которые необходимы для установления его зернового состава при следующих значениях частных остатков на стандартных ситах:

Размеры отверстий сит, мм	70	40	20	10	5	3
Частные остатки, г	300	1300	1100	1400	600	300

5.14. Зерновой состав щебня № 1 в виде частных остатков на ситах приведен в табл. 5.6. Построить график зернового состава и дать оценку щебня по гранулометрическому составу.

Таблица 5.6. Зерновой состав щебня в виде частных остатков, %

№ щебня	Размеры отверстий сит, мм					
	40	30	20	10	5	3
1	—	—	14	29	35	19
2	—	—	6	29	43	20
3	—	—	10	40	29	19

5.15. Определить полные остатки на ситах, построить графики зернового состава и дать оценку состава щебня № 2 и № 3. Зерновой состав щебня № 2 и № 3 в виде частных остатков принять по данным табл. 5.6.

5.16. Найти состояние между песком и щебнем (по массе) в бетоне для получения плотной смеси заполнителей, если известны насыпная плотность песка, равная 1500 кг/м^3 , насыпная плотность щебня — 1550 кг/м^3 и истинная плотность зерен щебня — 2650 кг/м^3 .

5.17. Проба щебня массой 10 кг была последовательно просеяна через набор сит, причем частные остатки на каждом сите были соответственно равны:

Размеры отверстий сит, мм	70	40	20	10	5	3
Частные остатки, г	20	5100	2982	1246	432	220

Определить модуль крупности щебня, а также размеры контрольных сит.

5.18. В пробе щебня массой 5 кг обнаружены пластинчатые (лещадные) зерна, общая масса которых равна 810 г, и игольчатые зерна общей массой 217 г.

Удовлетворяет ли щебень требованию ГОСТ 8267–93 по содержанию пластинчатых и игольчатых зерен?

5.19. Навеска щебня из изверженных пород в сухом состоянии до отмучивания составляла 4000 г, а после отмучивания и сушки — 3954 г.

Удовлетворяет ли щебень требованию ГОСТ 8267–93 по содержанию пылевидных и глинистых (илистых) частиц для бетона М 200?

5.20. Гранитный щебень, высушенный до постоянной массы, равной 3,5 кг, всыпан в металлический сосуд, масса которого составляет 1,2 кг.

Затем этот сосуд со щебнем был доверху заполнен водой. Общая масса сосуда со щебнем и водой составила 8,6 кг. После опорожнения от щебня с водой сосуд снова был заполнен водой и взвешен. Масса сосуда с водой оказалась равной 6,38 кг.

Определить истинную, а также среднюю плотности гранитного щебня. Учитывая, что водопоглощение гранита в обычных условиях составляет 0,5 % по массе, а под давлением — 0,9 %, установить точность определения истинной плотности таким способом.

5.21. Бетонная смесь, приготовленная на кварцевом песке и известняковом щебне, состава 1 : 2 : 3,5 (по массе) при $(B/C)_0 = 0,63$ имела осадку стандартного конуса такую же, как и растворная смесь состава 1 : 2 при $(B/C)_0 = 0,42$. Прочность бетона в возрасте 28 суток, определенная по результатам испытания стандартных образцов, 26,2 МПа. Активность цемента 44 МПа. Определить водопотребность и коэффициент прочности щебня.

5.22. Для приготовления бетона имеются два вида щебня, гранулометрический состав которых приведен в табл. 5.7 (частные остатки, %). У щебня № 1 (№ 2) насыпная плотность $1500 (1300) \text{ кг/м}^3$ и средняя плотность зерен $2650 (2700) \text{ кг/м}^3$. Определить пустотность щебня и построить графики гранулометрического состава. Дать заключение о пригодности щебня для использования в бетоне.

Таблица 5.7. Гранулометрический состав щебня

№ щебня	Размеры отверстий сит, мм					
	40	20	10	5	3	<3
1	—	3	45	47	5	—
2	—	22	38	20	15	5

Расчет состава тяжелого бетона. Целью расчета состава бетона является определение наиболее рационального соотношения между составляющими бетон материалами, обеспечивающими при наименьшем расходе цемента получение бетонной смеси требуемой подвижности (жесткости), а также бетона с заданными физико-механическими свойствами в установленные сроки.

При расчете состава бетонной смеси должны учитываться всевозможные факторы, влияющие на конечное качество бетона, с целью обеспечения надежности и долговечности бетонной или железобетонной конструкции.

Пример 5.15. Рассчитать номинальный (лабораторный) состав тяжелого бетона М 300 для массивных армированных конструкций. Материалы: портландцемент М 400 с истинной плотностью $\rho_{\text{ист}} = 3,1 \text{ кг/л}$; песок средней крупности с водопотребностью 7 % и истинной плотностью $\rho_{\text{ист}} = 2,63 \text{ кг/л}$; гранитный щебень с предельной крупностью $D_n = 40 \text{ мм}$, истинной плотностью $\rho_{\text{ист}} = 2,6 \text{ кг/л}$ и насыпной плотностью $\rho_{\text{н.ш}} = 1,48 \text{ кг/л}$. Заполнители рядовые.

Решение: Водоцементное отношение находят из эмпирических формул:

$$R_b = AR_u(\text{Ц}/B - 0,5) \quad (1)$$

$$\text{или } R_b = A_1 R_u(\text{Ц}/B + 0,5). \quad (2)$$

Значения коэффициентов A и A_1 принимают по данным табл. 5.8.

Таблица 5.8. Характеристика заполнителей бетона

Характеристика заполнителей бетона	A	A_1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Формулу (1) рекомендуется применять в следующих случаях:

если $A = 0,65$, то при $R_b \leq 1,3R_u$;

$A = 0,60$, $R_b \leq 1,2R_u$;

$A = 0,55$, $R_b \leq 1,1R_u$.

Если требуется более высокая прочность бетона, следует пользоваться формулой (2).

Для бетонов с $B/\text{Ц} \geq 0,4$ применима формула (1), для бетонов с $B/\text{Ц} < 0,4$ — формула (2).

В данном случае $R_b = \frac{30,0}{40,0} = 0,75R_u$, поэтому воспользуемся

формулой (1) с $A = 0,60$.

Преобразуем формулу (1) относительно

$$B/\text{Ц} = \frac{0,6R_u}{R_b + 0,5 \cdot 0,6R_u} = \frac{0,6 \cdot 40,0}{30,0 + 0,3 \cdot 40,0} = 0,571,$$

принимая $B/\text{Ц} = 0,57$.

Ориентировочный расход воды определяется по рекомендациям [6], в зависимости от требуемой подвижности или жесткости (удо-

буукладываемости) бетонной смеси, наибольшей крупности гравия (щебня) и других факторов. Степень подвижности или жесткости бетонной смеси зависит от вида конструкций или изделий, густоты их армирования, способа укладки и уплотнения бетонной смеси и характеризуется осадкой конуса ОК. В данном случае осадка конуса принимается равной 2–4 см.

Тогда расход воды $B = 178 \text{ л}$.

Расход цемента

$$\text{Ц} = B : \frac{B}{\text{Ц}} = \frac{175}{0,57} = 312 \text{ кг/м}^3 \text{ бетона.}$$

Расход щебня вычисляют по формуле

$$\text{Щ} = \frac{1}{\frac{\alpha \Pi_{\text{щ}}}{\rho_{\text{н.ш}}} + \frac{1}{\rho_{\text{ист}}}} = \frac{1}{\frac{1,36 \cdot 0,43}{1480} + \frac{1}{2600}} = 1283 \text{ кг/м}^3 \text{ бетона,}$$

где $\Pi_{\text{щ}}$ — пустотность щебня

$$\Pi_{\text{щ}} = \frac{\rho_{\text{н.ш}} - \rho_{\text{ист}}}{\rho_{\text{ист}}} = \frac{2600 - 1480}{2600} = 0,43;$$

α — коэффициент раздвижки зерен щебня, принимается по данным табл. 5.9 [10] в зависимости от расхода цемента и водоцементного отношения ($\alpha = 1,36$).

Таблица 5.9. Коэффициент раздвижки зерен

Расход цемента, кг/м ³	Значения коэффициента α в пластичной бетонной смеси на песке средней крупности с водопотребностью 7 % при следующих В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	1,3	1,36	1,42	—
350	1,32	1,38	1,44	—	—
400	1,40	1,46	—	—	—

Примечание. При применении мелкого песка с водопотребностью выше 7 % коэффициент α уменьшается на 0,03 на каждый процент увеличения водопотребности песка; при применении крупного песка с водопотребностью ниже 7 % коэффициент α увеличивается на 0,03 на каждый процент уменьшения водопотребности песка.

Расход песка

$$\Pi = 1 - \left[\frac{\Pi}{\rho_{н.п.}} + \frac{B}{\rho_{н.в.}} + \frac{\Pi}{\rho_{н.ц.}} \right] \rho_{н.п.} =$$

$$= \left[1 - \left(\frac{312}{3100} + \frac{178}{1000} + \frac{1283}{2600} \right) \right] 2630 = 601 \text{ кг/м}^3 \text{ бетона.}$$

Средняя плотность бетонной смеси

$$\rho_{с.б.см} = \Pi + B + \Pi + \Pi = 312 + 178 + 601 + 1283 = 2374 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 5.16. Рассчитать производственный (полевой) состав тяжелого бетона, лабораторный состав которого принять по предыдущей задаче. Влажность песка и щебня равна соответственно $W_n = 2$ и $W_{ш} = 1$ %.

Решение: Содержание воды в песке

$$B_n = \frac{\Pi}{100} W_n = \frac{601}{100} \cdot 2 = 12 \text{ л.}$$

Содержание воды в щебне

$$B_{ш} = \frac{\Pi}{100} W_{ш} = \frac{1283}{100} \cdot 1,0 = 12,83 \text{ л.}$$

Производственный расход воды

$$B_{пр} = B - (B_n + B_{ш}) = 178 - (12 + 12,83) = 153,17 = 153 \text{ л.}$$

Производственный расход песка

$$\Pi_{пр} = \Pi + B_n = 601 + 12 = 613 \text{ кг/м}^3.$$

Производственный расход щебня

$$\Pi_{ш} = \Pi + B_{ш} = 1283 + 12,83 = 1295,83 = 1296 \text{ кг/м}^3.$$

Производственный расход цемента

$$\Pi_{ц} = 312 \text{ кг/м}^3, \text{ т. е. остается без изменения.}$$

Средняя плотность бетонной смеси производственного состава

$$\rho_{с.пр} = \Pi + B_{пр} + \Pi_{пр} + \Pi_{ш} = 312 + 153 + 613 + 1296 = 2374 \text{ кг/м}^3,$$

т. е. равна средней плотности бетонной смеси лабораторного состава.

Пример 5.17. Вычислить расход материалов на один замес бетономешалки с емкостью смесительного барабана $V_0 = 1200$ л, если расход материалов на 1 м^3 производственного бетона следующий: Π — 312 кг, B — 153 л, Π — 613 кг, Π — 1296 кг. Насыпные плотности влажных песка и щебня соответственно принять $\rho_{н.п.пр} = 1,60$ и $\rho_{н.ш.пр} = 1,49 \text{ кг/л}$, насыпная плотность цемента $\rho_{н.ц} = 1,30 \text{ кг/л}$. По лабораторным данным наиболее плотная смесь крупного заполнителя состоит из 40 % щебня крупностью 10–20 мм и 60 % щебня крупностью 20–40 мм.

Решение: Коэффициент выхода бетонной смеси

$$\beta = \frac{1}{V_n + V_n + V_{ш}} = \frac{1}{\frac{\Pi}{\rho_{н.п.}} + \frac{\Pi_{пр}}{\rho_{н.п.пр}} + \frac{\Pi_{ш}}{\rho_{н.ш.пр}}} = \frac{1}{\frac{312}{1300} + \frac{613}{1600} + \frac{1296}{1490}} = 0,67.$$

Расходы материалов на один замес бетономешалки: цемента

$$\Pi_3 = \frac{V_0 \beta}{1000} \Pi = \kappa \Pi = \frac{1200 \cdot 0,67}{1000} \cdot 312 = 0,80 \cdot 312 = 251 \text{ кг,}$$

где

$$\frac{V_0 \beta}{1000} = \kappa;$$

воды

$$B_3 = \kappa B_{пр} = 0,80 \cdot 153 = 122,4 \text{ л;}$$

щебня

$$\Pi_3 = \kappa \Pi_{ш} = 0,80 \cdot 1296 = 1036,8 \text{ кг}$$

(414,7 кг крупностью 10–20 мм и 622,1 кг крупностью 20–40 мм).

Пример 5.18. Используя результаты расчетов, полученные в примерах 5.15 и 5.16, выразить номинальный и производственный составы бетона по массе и объему соотношениями между цементом, песком и щебнем ($1 : X : Y$). Насыпную плотность сухого песка принять $\rho_{н.п} = 1,63 \text{ кг/л}$.

Решение: Номинальный состав бетона по массе

$$1 : X : Y = \frac{\Pi}{\Pi} : \frac{\Pi}{\Pi} : \frac{\Pi}{\Pi} = 1 : 1,93 : 4,11.$$

Номинальный состав бетона по объему

$$1 : X_1 : Y_1 = 1 : \frac{\rho_{н.ц}}{\rho_{н.п}} : \frac{\rho_{н.ц}}{\rho_{н.щ}} = 1 : 1,54 : 3,59.$$

Производственный состав бетона по массе

$$1 : X_{пр} : Y_{пр} = \frac{\rho_{н.ц}}{\rho_{н.п}} : \frac{\rho_{н.ц}}{\rho_{н.щ}} : \frac{\rho_{н.ц}}{\rho_{н.п}} = 1 : 1,96 : 4,15.$$

Производственный состав бетона по объему

$$1 : X_{пр} : Y_{пр} = 1 : \frac{\rho_{н.п}}{\rho_{н.п.пр}} : \frac{\rho_{н.щ}}{\rho_{н.щ.пр}} = 1 : 1,59 : 3,65.$$

Пример 5.19. Вычислить расход материалов на 1 м³ бетонной смеси со средней плотностью $\rho_{с.б.см} = 2300$ кг/м³ и водоцементным отношением $B/C = 0,42$, если производственный состав бетона выражен соотношением по массе $1 : X : Y = 1 : 2 : 4$ (цемент : песок : щебень).

Решение: Средняя плотность бетонной смеси

$$\rho_{с.б.см} = C + П + Щ + В = C(1 + X + Y + B/C).$$

Отсюда

$$C = \frac{\rho_{с.б.см}}{1 + X + Y + B/C} = \frac{2300}{1 + 2 + 4 + 0,42} = 310 \text{ кг}.$$

Тогда

$$П = XC = 2 \cdot 310 = 620 \text{ кг};$$

$$Щ = YC = 4 \cdot 310 = 1240 \text{ кг};$$

$$В = B/C \cdot C = 0,42 \cdot 310 = 130 \text{ кг (л)}.$$

Пример 5.20. Рассчитать состав высокопрочного бетона М 500 для массивного сооружения с редко расположенной арматурой. Требуемая подвижность бетонной смеси 2–3 см. Материалы: портландцемент М 500 с истинной плотностью $\rho_{н.ц} = 3100$ кг/м³; гранитный фракционированный щебень с наибольшей крупностью 40 мм, истинной и насыпной плотностью соответственно $\rho_{н.щ} = 2600$ и $\rho_{н.щ} = 1560$ кг/м³. Содержание фракций 10–20 мм — 40 %, 20–40 мм — 60 %. Крупный песок с истинной и насыпной плот-

ностью соответственно $\rho_{н.п} = 2600$ и $\rho_{н.п} = 1620$ кг/м³ и водопотребностью 7 %. Дополнительный помол цемента повысил его активность до 60,0 МПа.

Решение: Водоцементное отношение бетонной смеси

$$\frac{B}{C} = \frac{0,55 R_{н.ц}}{R_0 + 0,55 \cdot 0,5 R_{н.ц}} = \frac{0,55 \cdot 500}{500 + 0,55 \cdot 0,5 \cdot 500} = 0,43.$$

Расход воды

$$В = 175 \text{ л}.$$

Расход цемента

$$C = \frac{175}{0,43} = 407 \text{ г/м}^3.$$

В высокопрочном бетоне для массивных сооружений максимальный расход цемента не рекомендуется превышать: при применении белитового портландцемента — 430 кг/м³; при применении обычного портландцемента — 375 кг/м³; для всех остальных случаев — 500 кг/м³. Расход цемента сверх указанного количества не экономичен, поскольку дальнейшее его повышение мало изменяет прочность бетона.

В связи с тем что расчетный расход цемента $C = 407 > 375$ кг/м³, применяем его дополнительный помол до активности 600, тогда

$$B/C = \frac{0,55 \cdot 600}{500 + 0,55 \cdot 0,5 \cdot 600} = 0,496,$$

$$\text{а расход цемента } C = \frac{B}{B/C} = \frac{175}{0,496} = 353 \text{ кг/м}^3 < 375 \text{ кг/м}^3.$$

В дальнейшем, используя методику расчета, приведенную в примере 5.15, определяем расход цемента, песка и среднюю плотность бетонной смеси:

$$Щ = 1343 \text{ кг/м}^3, П = 506 \text{ кг/м}^3, \rho_{с.б.см} = 2377 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 5.21. Определить расход материалов в состоянии естественной влажности на замес бетоносмесителя вместимостью $V_0 = 1200$ л (по объему загружаемых материалов). Влажность пес-

ка $W_n = 4\%$, влажность щебня — $W_{щ} = 1\%$. Номинальный состав бетона на 1 м^3 : Ц = 285 кг, В = 190 кг, П = 651 кг, Ш = 1194 кг. Насыпная плотность цемента — $\rho_{н.ц} = 1300 \text{ кг/м}^3$; песка — $\rho_{н.п} = 1450 \text{ кг/м}^3$; щебня — $\rho_{н.щ} = 1400 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Производственный состав бетона (расход материалов) с учетом влажности материалов составляет:

а) по массе:

$$Ц_{пр} = Ц = 285 \text{ кг/м}^3;$$

$$В_{пр} = В - \left(\frac{П W_n}{100} + \frac{Ш W_{щ}}{100} \right) = 190 - \left(\frac{651 \cdot 4}{100} + \frac{1194 \cdot 1}{100} \right) = 152 \text{ кг/м}^3;$$

$$П_{пр} = П + \frac{П W_n}{100} = 651 + \frac{651 \cdot 4}{100} = 677 \text{ кг/м}^3;$$

$$Ш_{пр} = Ш + \frac{Ш W_{щ}}{100} = 1194 + \frac{1194 \cdot 1}{100} = 1206 \text{ кг/м}^3;$$

б) по объему:

$$V_u = \frac{Ц_{пр}}{\rho_{н.ц}} = \frac{285}{1,3} = 219,2 \text{ л};$$

$$V_n = \frac{П_{пр}}{\rho_{н.п}} = \frac{677}{1,45} = 466,9 \text{ л};$$

$$V_{щ} = \frac{Ш_{пр}}{\rho_{н.щ}} = \frac{1206}{1,4} = 861,4 \text{ л}.$$

Коэффициент выхода бетона

$$\beta = \frac{1000}{V_u + V_n + V_{щ}} = \frac{1000}{219,2 + 861,4 + 466,9} = 0,65.$$

Расход материалов на замес бетоносмесителя V_6 вместимостью 1200 л составляет:

$$Ц_3 = \frac{Ц_{пр} \cdot \beta \cdot V_6}{1000} = \frac{285 \cdot 0,65 \cdot 1200}{1000} = 222 \text{ кг};$$

$$П_3 = \frac{П_{пр} \cdot \beta \cdot V_6}{1000} = \frac{677 \cdot 0,65 \cdot 1200}{1000} = 528 \text{ кг};$$

$$Ш_3 = \frac{Ш_{пр} \cdot \beta \cdot V_6}{1000} = \frac{1206 \cdot 0,65 \cdot 1200}{1000} = 941 \text{ кг},$$

$$В_3 = Ц_3 \cdot \frac{В}{Ц} = 222 \cdot 0,67 = 149 \text{ кг}.$$

Пример 5.22. Сколько потребуется замесов бетоносмесителя емкостью $V_6 = 1200 \text{ л}$ для приготовления $V_{б.см} = 20 \text{ м}^3$ бетонной смеси, если коэффициент выхода бетона равен $\beta = 0,65$?

Решение: Объем бетона, производимого за один замес:

$$V_{б.з} = V_6 \cdot \beta = 1200 \cdot 0,65 = 780 \text{ л}.$$

Тогда количество замесов

$$N = \frac{V_{б.см}}{V_{б.з}} = \frac{20000}{780} = 25,6 \approx 26.$$

Пример 5.23. Определить расход цемента и щебня на один замес крупнопористого бетона в бетономешалке емкостью $V_6 = 500 \text{ л}$, если состав бетона по массе $1 : n = 1 : 10,5$ при расходе цемента $Ц = 147 \text{ кг/м}^3$. Насыпная плотность цемента и щебня равны соответственно $\rho_{н.ц} = 1250$ и $\rho_{н.щ} = 1520 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Определяем коэффициент выхода бетона

$$\beta = \frac{V_6}{V_u + V_{щ}} = \frac{V_6}{Ц \left(\frac{1}{\rho_{н.ц}} + \frac{n}{\rho_{н.щ}} \right)} = \frac{1}{147 \left(\frac{1}{1250} + \frac{10,5}{1520} \right)} = 0,88.$$

Расход цемента

$$Ц_3 = \frac{\beta V_6}{1000} \cdot Ц = \frac{0,88 \cdot 500}{1000} \cdot 147 = 65 \text{ кг}.$$

Расход щебня

$$Ш_3 = \frac{\beta V_6}{1000} \cdot Ш = \frac{0,88 \cdot 500}{1000} \cdot 147 \cdot 10,5 = 679 \text{ кг}.$$

Учитывая высокий коэффициент выхода, расход материалов на один замес следует уменьшить на 15–20 %.

Пример 5.24. Вычислить коэффициент выхода крупнопористого бетона состава по объему $1 : n = 1 : 10$ с расходом цемента $Ц = 120 \text{ кг/м}^3$. Насыпная плотность цемента $\rho_{н.ц} = 1210 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Коэффициент выхода бетона

$$\beta = \frac{V_6}{V_u + V_{ш}} = \frac{V_6}{V_u + nV_u} = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{нц}}(1+n)} = \frac{1}{\frac{120}{1210}(1+10)} = 0,92.$$

Пример 5.25. Для дорожных покрытий, устраиваемых бетоноукладочными машинами, используется бетон М 350. Показатель подвижности бетонной смеси ОК = 2–4 см. В смесь входят следующие материалы: цемент активностью 40 МПа, истинной плотностью $\rho_{нц} = 3100 \text{ кг/м}^3$ и насыпной плотностью $\rho_{нц} = 1300 \text{ кг/м}^3$; песок кварцевый мелкозернистый с водопотребностью 9 % и $M_{кр} = 1,0$, истинной плотностью $\rho_{нп} = 2630 \text{ кг/м}^3$ и насыпной плотностью $\rho_{нп} = 1400 \text{ кг/м}^3$; щебень гранитный с предельной крупностью 40 мм, истинной плотностью $\rho_{нш} = 2650 \text{ кг/м}^3$, насыпной плотностью $\rho_{нш} = 1480 \text{ кг/м}^3$ и пустотностью $\Pi_{ш} = 44 \text{ \%}$.

Каков состав бетона?

Решение: Учитывая, что заполнители рядовые, принимаем значение коэффициента $A = 0,6$ (табл. 5.8).

Определяем B/C из уравнения

$$R_0 = AR_u (C/B - 0,5).$$

Тогда

$$\frac{B}{C} = \frac{0,6R_u}{R_0 + 0,5 \cdot 0,6R_u} = \frac{0,6 \cdot 40}{350 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 400} = 0,5.$$

Расход воды для заданной ОК с учетом свойств заполнителей

$$B = 175 + (5 \cdot 2) = 185 \text{ л.}$$

Расход цемента

$$C = \frac{B}{B/C} = \frac{185}{0,5} = 370 \text{ кг.}$$

Расход щебня

$$\Pi_{ш} = \frac{1}{\frac{\alpha}{\rho_{нш}} + \frac{1}{\rho_{ш}}} = \frac{1}{0,44 \frac{1,36}{1480} + \frac{1}{2650}} = 1287 \text{ кг.}$$

Здесь $\alpha = 1,42 - (0,03 \cdot 2) = 1,36$ (табл. 5.9).

Расход песка

$$\Pi = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{нц}} + \frac{B}{\rho_{нп}} + \frac{\Pi_{ш}}{\rho_{ш}} \right) \right] \cdot \rho_{нп} =$$

$$= \left[1 - \left(\frac{370}{3100} + \frac{185}{1000} + \frac{1287}{2650} \right) \right] \cdot 2630 = 553 \text{ кг.}$$

Предварительный состав бетона: $C = 370 \text{ кг/м}^3$; $B = 185 \text{ л/м}^3$; $\Pi_{ш} = 1287 \text{ кг/м}^3$; $\Pi = 553 \text{ кг/м}^3$. Рассчитанный состав уточняют, приготавливая пробные замесы и корректируя расход воды и цемента, в соответствии с заданным показателем подвижности.

Пример 5.26. Определить состав бетона для дорожного покрытия с прочностью при изгибе $R_{б,изг} = 4,0$ МПа. Осадка конуса бетонной смеси 1–2 см. Материалы: портландцемент активностью $R_{ц,ск} = 44,0$ МПа и истинной плотностью $\rho_{нц} = 3100 \text{ кг/м}^3$; песок средней крупности с истинной и насыпной плотностями соответственно $\rho_{нп} = 2650$ и $\rho_{нп} = 1650 \text{ кг/м}^3$; щебень гранитный с истинной и насыпной плотностями — $\rho_{нш} = 2650$ и $\rho_{нш} = 1540 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Прочность цемента при изгибе

$$R_{ц,изг} = 0,08R_{ц,ск} + 1,1 = 0,08 \cdot 44,0 + 1,1 = 4,6 \text{ МПа.}$$

Водоцементное отношение определяют по формулам: для бетонов на гранитном щебне

$$B/C = 0,45 \frac{R_{ц,изг}}{R_{б,изг}} + 0,03;$$

для бетонов на известняковом щебне

$$B/C = 0,45 \frac{R_{ц,изг}}{R_{б,изг}} + 0,07.$$

Для рассматриваемого в задаче случая

$$B/C = 0,45 \cdot \frac{R_{ц,изг}}{R_{б,изг}} + 0,03 = 0,45 \cdot \frac{4,6}{4,0} + 0,03 = 0,55.$$

Для обеспечения достаточной морозостойкости бетона и долговечности дорожных покрытий рекомендуют следующие водоцемент-

ные отношения: для сурового климата ($t < -15^\circ\text{C}$) $B/C = 0,5$; для среднего климата ($t = -5 \dots -15^\circ\text{C}$) — $B/C = 0,53$; для мягкого климата ($t > -5^\circ\text{C}$) $B/C = 0,55$; для теплого климата ($t \geq 0^\circ\text{C}$) — $B/C \leq 0,6$.

Для расчета принимаем $B/C = 0,54$.

Расход воды принимаем по данным табл. 5.10.

Таблица 5.10. Расход воды для разных видов заполнителя

Вид заполнителя бетона	Расход воды, л/м ³
Гранитный щебень	155
Известняковый щебень	165
Гравий	145
Мелкий песок и гранитный щебень	165
Известняковый песок и щебень	180

Принимаем $B = 155$ л.

Расход цемента

$$C = \frac{B}{B/C} = \frac{155}{0,54} = 287 \text{ кг};$$

расход щебня

$$Щ = \frac{1}{\frac{\alpha \Pi_{щ}}{\rho_{н,щ}} + \frac{1}{\rho_{н,ц}}} = \frac{1}{1,34 \frac{0,42}{1540} + \frac{1}{2650}} = 1348 \text{ кг},$$

где коэффициент раздвижки зерен $\alpha = 1,3 - 1,36$ (табл. 5.7); пустотность щебня $\Pi_{щ} = 0,42$.

Расход песка

$$\Pi = \left[1 - \left(\frac{287}{3100} + \frac{155}{1000} + \frac{1348}{2650} \right) \right] \cdot 2650 = 646 \text{ кг}.$$

Окончательный состав бетона устанавливается на основе пробных замесов и результатов контрольных испытаний.

Пример 5.27. Подобрать состав бетона для плит пролетного строения мостового переезда. Марка бетонной смеси по удобоукладываемости П1 (осадка конуса ОК = 3 см). Класс бетона по прочности после пропаривания и последующего твердения в нормальных условиях — В25 ($B_b = 25 : 0,778 = 32$ МПа), марка по

морозостойкости — F 150, марка по водонепроницаемости — W 4. Отпускная прочность — 70 % от предела прочности в возрасте 28 суток: $32 \cdot 0,7 = 22,4$ МПа.

Материалы: портландцемент среднеалюминатный активностью 38,5 МПа с НГЦТ — 26 %, крупный заполнитель — гранитный щебень с содержанием фракций 5–10 мм — 20 %, 10–20 мм — 25 %, 20–40 мм — 55 %; мелкий заполнитель — кварцевый песок средней крупностью $M_k = 2,1$; насыпная плотность сухих материалов соответственно: цемента, песка и щебня — $\rho_{н,ц} = 1200$ кг/м³, $\rho_{н,п} = 1400$ кг/м³; $\rho_{н,щ} = 1500$ кг/м³, а истинная плотность материалов: $\rho_{и,ц} = 3100$ кг/м³; $\rho_{и,п} = 2500$ кг/м³; $\rho_{и,щ} = 2550$ кг/м³.

Решение: Выполняем расчет ориентировочного состава бетона согласно литературе [19].

1. Определяем B/C по прочности на сжатие по формуле

$$B/C = \frac{0,6 \cdot 38,5}{32 + 0,6 \cdot 0,5 \cdot 38,5} = 0,53.$$

2. Ориентировочно определяем расход воды

$$B = 175 \text{ л}.$$

3. Определяем расход цемента

$$C = \frac{B}{B/C} = \frac{175}{0,53} = 310 \text{ кг}.$$

Уточним расход цемента с учетом требований СТБ 1182–99. Для бетона класса по прочности на сжатие В25 с отпускной прочностью 70 % проектной марки в условиях тепловой обработки при ОК бетонной смеси 3 см, приготовленного на портландцементе марки 400, расход его не должен превышать 335 кг/м³. С учетом поправки на применение щебня с $D = 40$ мм расход не должен превышать $335 \cdot 0,93 \approx 312$ кг. Согласно данным табл. 20 упомянутого СТБ для бетона марки по морозостойкости F150 расход цемента не должен превышать 300 кг/м³, а для бетона марки по водонепроницаемости W4 — 328 кг. Примем $C = 315$ кг/м³.

4. Определяем расход щебня

$$Щ = \frac{1}{\frac{1,36 \cdot 0,41}{1500} + \frac{1}{2550}} = 1309 \text{ кг}.$$

Пустотность щебня составляет

$$V_{\text{пуст}} = \frac{2550 - 1500}{2550} = 0,41.$$

Коэффициент α принимаем равным 1,36.

5. Определяем расход песка

$$\Pi = \left[1 - \left(\frac{315}{3100} + \frac{175}{1000} + \frac{1309}{2550} \right) \right] \cdot 2550 = 541 \text{ кг.}$$

В результате проведенных расчетов получим следующий ориентировочный номинальный состав бетона, кг/м³:

цемент	315;	песок	541;
вода	175;	щебень	1309;
		итого	2340.

Экспериментальная проверка и корректировка состава бетона осуществляется в следующей последовательности.

1. Вычисляем расход материалов на пробный замес исходя из номинального состава бетона. Объем пробного замеса примем 12 л. Тогда расход материалов составит, кг:

цемента	— 315 · 0,012 = 3,78;
воды	— 175 · 0,012 = 2,10;
песка	— 541 · 0,012 = 6,49;
щебня	— 1309 · 0,012 = 15,71.

2. Вычисляем расход материалов в килограммах на пробный замес бетона после корректировки содержания материалов.

Допустим, что после проверки удобоукладываемости бетонной смеси оказалось, что вместо принятой осадки конуса 3 см фактическая осадка конуса составила 6 см. Для обеспечения требуемой осадки конуса добавим 5 % песка и щебня. Бетонную смесь дополнительно перемешиваем и опять проверяем осадку конуса. Если она остается принятой, опыт заканчиваем и делаем перерасчет действительного расхода материалов (табл.5.11).

3. Определяем абсолютный объем откорректированного состава бетонной смеси, м³:

$$V_3 = \frac{3,78 + 2,10 + 6,81 + 16,49}{2325,0} = 0,01255,$$

предварительно определив среднюю плотность бетонной смеси $\rho_{\text{б,см}} = 2325,0 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 5.11. Уточнение расчетного состава бетона по удобоукладываемости

Материал и характеристика бетона	Расход материалов бетона номинального состава	Добавлено	Расход материалов бетона уточненного состава
Цемент, кг	3,78	—	3,78
Вода, кг	2,10	—	2,10
Песок, кг	6,49	0,32	6,81
Щебень, кг	15,71	0,79	16,49
В/Ц	0,53	—	0,53
Осадка конуса, см	6	—	3

4. Определяем расход материалов в килограммах на 1 м³ бетонной смеси:

$$\text{Ц} = \frac{\text{Ц}_3 \cdot 1}{V_3} = \frac{3,78 \cdot 1}{0,01255} = 301; \quad \text{В} = \frac{\text{В}_3 \cdot 1}{V_3} = \frac{2,10 \cdot 1}{0,01255} = 167;$$

$$\Pi = \frac{\Pi_3 \cdot 1}{V_3} = \frac{6,81 \cdot 1}{0,01255} = 543; \quad \text{Щ} = \frac{\text{Щ}_3 \cdot 1}{V_3} = \frac{16,49 \cdot 1}{0,01255} = 1314.$$

5. Уточняем В/Ц из условия получения бетона необходимой прочности. Для этого приготавливаем дополнительно два замеса, один с В/Ц, большим на 20 %, второй — меньшим на 20 %, чем у основного. За основной примем состав 1, откорректированный по удобоукладываемости бетонной смеси. Величину В/Ц изменяем, уменьшая или увеличивая расход цемента. Изменяем также расход песка. Расход щебня остается неизменным. Образцы пропариваем по принятому режиму. Определяем предел прочности после пропаривания и через 28 суток от начала изготовления образцов при хранении их после пропаривания в нормальных условиях.

Составы и прочность бетонов с разными В/Ц сводим в табл. 5.12.

Таблица 5.12. Уточнение расчетного состава бетона по прочности

Материал и характеристика бетона	Состав бетона		
	1	2	3
Цемент, кг	3,624	3,022	4,532
Вода, кг	2,016	2,016	2,016
Песок, кг	6,468	7,07	5,56
Щебень, кг	15,792	15,792	15,792
В/Ц	0,556	0,6672	0,4448
Прочность при сжатии, МПа			
$R_{\text{б,н}}$	36,65	31,66	42,11
$R_{\text{б,прот}}$	25,0	20,83	31,25

По полученным значениям прочности строим график $R_c = f(B/C)$ (рис. 5.1).

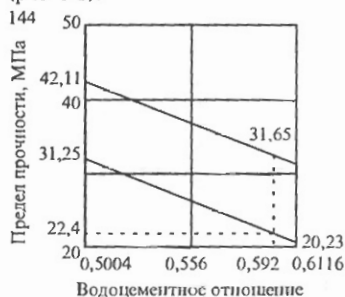


Рис. 5.1. График зависимости между прочностью бетона и водоцементным отношением

1. Рассчитываем состав бетона на влажных заполнителях. Условно примем, что щебень имеет влажность 1 %, песок — 4 % по массе. Тогда количество воды в щебне составит $1316 \cdot 0,01 = 13$ кг, а количество воды в песке — $557 \cdot 0,04 = 22$ кг.

Из общего количества воды бетона номинального состава следует вычесть воду, содержащуюся в заполнителях. Ее расход составит $168 - 13 - 22 = 133$ кг. Количество же заполнителей следует увеличить. Тогда расход щебня станет $1316 + 13 = 1329$ кг, а расход песка $557 + 22 = 579$ кг.

Таким образом, откорректированный состав бетона на влажных заполнителях будет следующий, кг/м³: цемент — 284, вода — 133, щебень — 1329, песок — 579.

Состав бетона можно выразить в виде соотношения

$$\frac{C}{C} : \frac{П}{C} : \frac{Щ}{C} = \frac{284}{284} : \frac{579}{284} : \frac{1329}{284} = 1 : 2,04 : 4,68 \text{ при } B/C = 0,592.$$

2. Определяем расход материалов на замес бетономешалки. Пусть бетономешалка имеет вместимость барабана 0,25 м³. Тогда расход материалов на один замес в килограммах составит:

$$\begin{aligned} \text{цемент} &= 284 \cdot 0,25 = 71; \\ \text{вода} &= 133 \cdot 0,25 = 33,25; \end{aligned}$$

По графику определяем, что для бетона с $R_{проч} = 22,4$ МПа соответствует $B/C = 0,592$. Предел прочности этого бетона через 28 суток составил 33 МПа.

Окончательный номинальный состав бетона, следующий, кг/м³: $C = 284$, $B = 168$, $\Pi = 557$, $Щ = 1316$.

Расчет производственного состава бетона и расхода материалов на замес бетономешалки выполняем в следующей последовательности.

$$\begin{aligned} \text{песок} &= 579 \cdot 0,25 = 144,75; \\ \text{щебень} &= 1329 \cdot 0,25 = 332,25. \end{aligned}$$

Формование и уплотнение бетонной смеси. Пример 5.28. Бетонная смесь со средней плотностью $\rho_{с.б.см} = 2420$ кг/м³ и водоцементным отношением $B/C = 0,5$ имеет состав по массе $1 : X : Y = 1 : 2 : 4$. Насыпная ρ_n и истинная $\rho_{и.п.}$ плотности цемента, песка и гравия соответственно равны, кг/л: 1,3; 3,1; 1,56; 2,65; 1,5; 2,6.

Вычислить коэффициент раздвижки зерен гравия цементно-песчаным раствором (коэффициент избытка раствора).

Решение: Коэффициент раздвижки зерен щебня есть отношение абсолютного объема цементно-песчаного раствора в бетоне $V_{ар}$ к объему пустот крупного заполнителя $V_{п.г.}$. Сумма абсолютных объемов цемента, песка и воды $V_{ар} = V_{ц.п.} + V_{п.п.} + V$.

Расход цемента

$$C = \frac{\rho_{с.б.см}}{1 + X + Y + B/C} = \frac{2420}{1 + 2 + 4 + 0,5} = 323 \text{ кг.}$$

Расход воды

$$B = B/C \cdot C = 0,5 \cdot 323 = 161,5 \text{ л/м}^3.$$

Расход песка

$$\Pi = X \cdot C = 2 \cdot 323 = 646 \text{ кг/м}^3.$$

Расход гравия

$$Г = Y \cdot C = 4 \cdot 323 = 1292 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда

$$V_{ар} = \frac{C}{\rho_{ц.п.}} + \frac{B}{\rho_{п.п.}} + \frac{\Pi}{\rho_{п.п.}} = \frac{323}{3,1} + 161,5 + \frac{646}{2,65} = 509,5 \text{ л.}$$

Пустотность крупного заполнителя

$$\Pi_{г.п.} = \frac{\rho_{н.г.} - \rho_{с.г.}}{\rho_{г.}} = \frac{2,6 - 1,5}{2,6} = 0,42.$$

Объем пустот в крупном заполнителе

$$V_{п.г.} = \Pi_{г.п.} \cdot \frac{Г}{\rho_{г.}} = 0,42 \cdot \frac{1292}{1,5} = 361,8 \text{ л.}$$

Тогда коэффициент раздвижки зерен

$$\alpha = \frac{V_{ap}}{V_{nr}} = \frac{509,5}{361,8} = 1,41.$$

Пример 5.29. На 1 м³ бетонной смеси израсходовано цемента Ц = 300 кг, песка П = 685 кг, щебня Щ = 1200 кг и воды В = 165 л. Истинные плотности ρ_n цемента, песка и щебня равны соответственно 3,1; 2,65; 2,61 кг/л.

Вычислить коэффициент уплотнения смеси.

Решение: Фактический коэффициент уплотнения бетонной смеси $K_{фупл}$ есть отношение определенной опытным путем средней плотности смеси к средней плотности, вычисленной теоретически.

Теоретический коэффициент уплотнения — отношение суммы абсолютных объемов материалов, составляющих 1 м³ бетонной смеси, к объему смеси с пустотами.

Сумма абсолютных объемов материалов в 1 м³ смеси:

$$V_{аб} = V_{ac} + V_v + V_{an} + V_{аш} = \frac{300}{3,1} + 165 + \frac{685}{2,65} + \frac{1200}{2,61} = 980 \text{ л};$$

$$K_{тум} = \frac{V_{аб}}{1000} = \frac{980}{1000} = 0,980.$$

Пример 5.30. Номинальный состав бетона по массе при строительстве аванкамеры насосной станции 1 : 2,2 : 4,4 при В/Ц = 0,5. Средняя плотность бетона $\rho_{с.б.}$ = 2450 кг/м³. Насыпная плотность цемента $\rho_{н.ц.}$ = 1300 кг/м³, песка $\rho_{н.п.}$ = 1400 кг/м³, щебня $\rho_{н.ш.}$ = 1550 кг/м³. Найти номинальный состав бетона по объему и расход материалов на 1 м³ бетона.

Решение: Расход цемента

$$\text{Ц} = \frac{\rho_{с.б.}}{1 + 2,2 + 4,4 + 0,5} = \frac{2450}{(1 + 2,2 + 4,4 + 0,5)} = 302 \text{ кг}.$$

Тогда расходы песка и щебня:

$$\text{П} = 302 \cdot 2,2 = 664 \text{ кг}; \quad \text{Щ} = 302 \cdot 4,4 = 1329 \text{ кг}.$$

Объемы цемента, песка и щебня:

$$V_n = \frac{\text{Ц}}{\rho_{н.ц.}} = \frac{302}{1,3} = 232 \text{ л}; \quad V_n = \frac{\text{П}}{\rho_{н.п.}} = \frac{664}{1,4} = 474 \text{ л};$$

$$V_{ш} = \frac{\text{Щ}}{\rho_{н.ш.}} = \frac{1329}{1,55} = 857 \text{ л}.$$

Номинальный состав по объему

$$1 : X : Y = \frac{232}{232} : \frac{474}{232} : \frac{857}{232} = 1 : 2,04 : 3,69.$$

Пример 5.31. Железобетонная панель толщиной $b = 0,25$ м формуется на виброплощадке с амплитудой колебаний $A = 0,5$ мм и частотой $n = 3000$ кол/мин. Определить величину максимального уплотняющего давления $P_{\max}$, возникающего в толще формируемой панели, если формирование осуществляется с пригрузом $P = 100$ г/см². Среднюю плотность бетонной смеси принять $\rho_{с.б.см} = 2300$ кг/м³.

Решение: Величина максимального уплотняющего давления складывается из давления от массы столба бетонной смеси, пригруза и давления, развиваемого вибраторами:

$$P_{\max} = \rho_{с.б.см} b + P + \frac{\rho_{с.б.см} h A \omega^2}{g},$$

где ω — угловая скорость для круговых колебаний, рад/с; $A\omega^2 = 0,01An^2$ — ускорение колебаний, см/с²; $g = 981$ см/с².

$$\begin{aligned} P_{\max} &= \rho_{с.б.см} b + P + \frac{\rho_{с.б.см} h \cdot 0,01An^2}{g} = \\ &= 2,3 \cdot 25 + 100 + \frac{2,3 \cdot 25 \cdot 0,01 \cdot 0,05 \cdot 3000^2}{981} = 421,3 \text{ г/см}^2. \end{aligned}$$

Пример 5.32. Железобетонные ненапорные трубы с внутренним диаметром $D_n = 1000$ мм и толщиной стенки $b = 65$ мм изготавливаются из тяжелого бетона со средней плотностью $\rho_{с.б.}$ = 2400 кг/м³. Формование труб осуществляется центрифугированием.

Вычислить необходимое наименьшее число оборотов формы, обеспечивающее оптимальное распределение и уплотнение бетонной смеси.

Решение: Минимальное число оборотов формы в начальный период центрифугирования, т. е. в период распределения бетонной смеси по форме $n_{об.р.}$, вычисляется исходя из условия, обеспечивающего в верхней точке формы превышение центробежной силы над массой частиц бетонной смеси,

$$\text{т. е. } M R \omega^2 > M g \text{ или } R^2 \omega > g,$$

где M — масса бетонной смеси в верхней точке формы; R — наружный радиус трубы

$$R = \frac{D_n + 2b}{2} = \frac{1000 + 2 \cdot 65}{2} = 565 \text{ мм} = 56,5 \text{ см};$$

ω — угловая скорость

$$\omega = \frac{2\pi n_{об.р.}}{60};$$

$g = 981 \text{ см/с}^2$ определяется как

$$g = R \cdot \left(\frac{2\pi n_{об.р.}}{60} \right)^2$$

Отсюда

$$n_{об.р.} = \sqrt{\frac{602 \cdot 981}{56,5 \cdot 4 \cdot 3,14^2}} = 40 \text{ об/мин.}$$

$n_{об.р.}$ можно найти и из уравнения

$$n_{об.р.} = 42 \sqrt{\frac{1}{r}},$$

где r — внутренний радиус трубы, м;

$$n_{об.р.} = 42 \sqrt{\frac{1}{1}} = 42 \text{ об/мин.}$$

С учетом вязкости бетонной смеси и других факторов число оборотов формы в период распределения принимают в два раза больше расчетного, т. е. 80–150 об/мин. Большие значения $n_{об.р.}$ — для труб меньшего диаметра.

Величина центробежной силы, необходимая для уплотнения бетонной смеси:

$$P = \frac{0,0236}{265} \cdot A \cdot \left(\frac{n_{об.у.}}{100} \right)^2 \text{ кг/см}^2,$$

где $A = R^2 - \frac{r^3}{R} = 56,5^2 - \frac{50^3}{56,5} = 980$; $n_{об.у.}$ — число оборотов формы в минуту в период уплотнения.

В случае применения бетонной смеси со средней плотностью, отличающейся от 2400 кг/м³ в ту или другую сторону:

$$P = \frac{\rho_{с.б.см} \cdot 9,87}{265} A \cdot \left(\frac{n_{об.у.}}{100} \right)^2 \text{ кг/см}^2,$$

где $\rho_{с.б.см}$ — средняя плотность бетонной смеси, кг/м³.

Величина центробежной силы должна быть в пределах 0,7–1,5 кг/см². Принимая $P = 1,2 \text{ кг/см}^2$, имеем:

$$n_{об.у.} = 100 \sqrt{\frac{265 \cdot 1,2}{0,236 \cdot 991}} = 370 \text{ об/мин.}$$

Длительность периода уплотнения занимает 70–80 % общего времени центрифугирования; 20–30 % от этого общего времени расходуется на распределение бетонной смеси.

Твердение бетона в нормальных условиях и ускорение твердения. Пример 5.33. Для 1 м³ бетона на рядовых заполнителях и портландцементе М 400 требуется: цемента Ц = 300 кг, песка П = 600 кг, щебня Щ = 1200 кг, воды В = 178 л. Опыт установлено, что введением 0,2 % от массы цемента добавки лигно-сульфаната технического (ЛСТ) удастся снизить расход воды на 16 л с сохранением требуемой подвижности бетонной смеси. При твердении бетона в химические реакции с цементом вступает лишь 10 % вводимой в бетонную смесь воды.

Вычислить степень повышения плотности бетона при снижении расхода воды. Насколько повысится марочная прочность бетона в результате понижения водоцементного отношения?

Решение: Характеристика бетона без добавок: средняя плотность

$$\rho_{с.б} = Ц + П + Ш + В = 300 + 600 + 1200 + 178 = 2278 \text{ кг/м}^3;$$

объем пустот за счет испарения излишка воды

$$V_n = B - 0,1B = 178 - 178 \cdot 0,1 = 160,2 \text{ л};$$

пористость за счет испарившейся воды

$$П = \frac{V_n}{\rho_{с.б}} \cdot 100 = \frac{160,2}{2278} \cdot 100 = 7,0 \%;$$

прочность бетона

$$R_{28} = A \cdot R_u \left(\frac{Ц}{B} - 0,5 \right) = 0,6 \cdot 40,0 \left(\frac{300}{178} - 0,5 \right) = 28,4 \text{ МПа}.$$

Характеристика бетона с добавками ЛСТ:

средняя плотность

$$\rho_{с.д} = \rho_{с.б} - m_n = 2278 - 16 = 2262 \text{ кг/м}^3;$$

объем пустот за счет испарения излишка воды

$$V'_n = (B - 16) - 0,1(B - 16) = 162 - 16,2 = 145,8 \text{ л};$$

пористость за счет испарившейся воды

$$П' = \frac{V'_n}{\rho_{с.д}} \cdot 100 = \frac{145,8}{2262} \cdot 100 = 6,45 \%;$$

прочность бетона

$$R'_{28} = AR_u \left(\frac{Ц}{B'} - 0,5 \right) = 0,6 \cdot 40,0 \left(\frac{300}{162} - 0,5 \right) = 32,4 \text{ МПа}.$$

Пористость бетона за счет испарившейся воды снизилась на 8 %, марочная прочность повысилась на 12 %.

Пример 5.34. Необходимые прочность бетона и удобоукладываемость бетонной смеси получены при $B/C = 0,5$ и расходе цемента $C = 300 \text{ кг/м}^3$. При введении в бетонную смесь пластифицирующей добавки ЛСТМ-2 (0,2 %) такая же удобоукладываемость достигнута при $B/C = 0,48$.

На сколько килограммов уменьшится расход цемента при введении ЛСТМ-2, если прочность бетона оставить без изменения?

Решение: При введении добавки ЛСТМ-2 расход воды

$$B = \frac{B}{C} \cdot C = 0,48 \cdot 300 = 144 \text{ л/м}^3.$$

Чтобы сохранить прежнюю прочность бетона, необходимо оставить $B/C = 0,5$, тогда

$$C' = \frac{B}{0,5} = \frac{144}{0,5} = 288 \text{ кг}.$$

Снижение расхода цемента

$$\Delta C = C - C' = 300 - 288 = 12 \text{ кг}.$$

Пример 5.35. Определить водоцементное отношение бетона сборного элемента, при котором бетон из жесткой бетонной смеси на высококачественных заполнителях и на портландцементе М 600 через трое суток твердения в нормальных условиях наберет прочность при сжатии $R_{сж} = 15,0 \text{ МПа}$.

Решение: Определим прочность при сжатии через 28 суток:

$$R_{сж28} = R_{сж} \frac{\lg 28}{\lg 3} = 15,0 \cdot \frac{1,447}{0,478} = 45,4 \text{ МПа};$$

$$\text{Тогда } \frac{B}{C} = \frac{0,65 R_u}{R_{сж28} + 0,65 \cdot 0,5 R_u} = \frac{0,65 \cdot 60,0}{45,4 + 0,325 \cdot 60,0} = 0,6.$$

Твердение бетона в зимних условиях. Пример 5.36. Бетон с расчетной маркой М 300 был уложен подогретым до $t_n = +30^\circ \text{C}$, а затем твердел в течение 10 суток, остывая до нуля t_x .

Какую прочность наберет бетон за это время, если для его изготовления применен портландцемент М 400?

Решение: Средняя температура твердения бетона может быть принята как средняя арифметическая из начальной и конечной температур

$$t_{ср} = \frac{t_n + t_x}{2} = \frac{30 + 0}{2} = 15^\circ.$$

По данным табл. 5.12 находим прочность бетона в процентах от прочности бетона в возрасте 28 суток и твердеющего в нормальных

условиях при +15 °С. Для бетона на портландцементе М 400 после 10 суток его твердения она составит 67 %, или $30,0 \cdot 0,67 = 20,1$ МПа.

Таблица 5.12. Зависимость прочности бетона от его температуры

Цемент	Срок твердения бетона, сутки	Прочность бетона в процентах от R_{28} при твердении в нормальных условиях при активности цемента 300, 400, 500				
		Температура бетона, °С				
		1	5	10	15	20
Портландцемент	3	12,14,17	17,21,22	24,30,29	33,37,34	40,46,48
	7	27,27,35	35,37,43	42,47,52	52,55,61	59,64,68
	10	37,36,46	45,47,55	53,57,65	64,67,75	72,75,82
	28	65,70,75	78,80,86	90,91,95	100,100,100	—
Шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент	3	3,5,8	7,10,11	13,14,15	20,20,20	35,25,26
	7	12,15,12	19,23,25	27,32,34	35,41,43	45,50,47
	10	17,22,25	26,32,35	36,44,45	47,54,55	56,68,60
	28	40,46,50	58,68,70	78,86,90	100,100,100	—

Пример 5.37. Вычислить теплотраты на нагрев воды, идущей для изготовления бетона. Начальная температура воды $t_n = +5$ °С, конечная температура нагрева $t_k = +95$ °С. Расход воды принять по примеру 5.15.

Определить теоретический расход топлива без учета коэффициента полезного действия калорифера.

Решение: Теплотраты на нагрев воды

$$Q_w = \rho_w (t_k - t_n) V = 1000 \cdot 4,187 \cdot (95 - 5) \cdot 0,178 = 67\,076 \text{ кДж},$$

где ρ_w — плотность воды, кг/м³; c_w — удельная теплоемкость воды, кДж/кг °С, V — объем нагреваемой воды, м³.

Подсчитаем расход топлива, приняв теплотворную способность угля 29 309 кДж/кг, запас тепла в 1 кг пара с температурой +60 °С равным 2512 кДж.

$$\text{Потребуется } \frac{67\,076}{29\,309} = 2,3 \text{ кг угля или } \frac{67\,076}{3618} = 18,54 \text{ кВт}\cdot\text{ч электроэнергии, или } \frac{67\,076}{2512} = 26,7 \text{ кг пара.}$$

С учетом КПД калорифера эти цифры будут значительно выше. Так, при КПД 10 % расход угля составит 23 кг.

Пример 5.38. В бетонную смесь с расчетной маркой бетона 300 введена добавка хлористого кальция в количестве 2 % от массы цемента. Бетонная смесь была уложена в подогретом состоянии и твердела в течение 7 суток, остывая от 30 °С до 0 °С. Для изготовления бетона применен портландцемент М 400.

Определить, какую прочность наберет бетон за 7 суток. Достаточно ли эта прочность для получения бетона расчетной марки после оттаивания?

Решение: В соответствии с данными табл. 5.12 бетон без добавок за 7 суток твердения наберет прочность, равную 55 % от 28-суточной, т. е. $30,0 \cdot 0,55 = 16,5$ МПа.

В соответствии с данными табл. 5.13 бетон с добавками хлористого кальция в тех же условиях наберет прочность на 20 % большую, т. е. $16,5 \cdot 1,2 = 19,8$ МПа. Эта прочность составляет 66 % от расчетной, т. е. более 50 % от 28-суточной.

Получение расчетной прочности бетоном обеспечивается.

Таблица 5.13. Увеличение прочности бетона с добавками-ускорителями

Возраст бетона, сутки	Увеличение прочности бетона (твердеющего при $t = +15...+20^{\circ}\text{C}$), %			
	на портландцементе		на пуццолановом портландцементе	
	с добавками-ускорителями, % от веса цемента			
	1	2	1	2
2	14	1,65	1,5	2
3	13	1,5	1,4	1,7
5	1,2	1,3	1,3	1,4
7	1,15	1,2	1,2	1,25
28	1,05	1,1	1,1	1,15

Примечания. 1. Ожидаемую прочность бетона устанавливают путем умножения данных табл. 5.13 на соответствующие величины табл. 5.12.

2. Приведенные в табл. 5.13 данные должны быть уменьшены, если бетон твердеет при положительной температуре 0...+5 °С на 25 %, при положительной температуре +5...+10 °С — на 15 %.

Свойства бетона. Пример 5.39. При испытании на сжатие кубиков тяжелого бетона размерами 15х15х15 см после 20 суток их твердения в нормальных условиях среднее разрушающее усилие оказалось $P = 900,0$ кН. Бетон приготовлен на портландцементе, заполнители удовлетворяют требованиям ГОСТов.

Установить марку и класс бетона по прочности на сжатие

Решение: Марку бетона устанавливают по величине предела прочности при сжатии бетонных образцов-кубиков с размерами 20х20х20 см после 28 суток его твердения в нормальных условиях. Однако для определения марки бетона применяются кубики иных размеров. Ребро кубика h выбирается в зависимости от максимальной крупности a гравия (щебня). Для перевода результатов испытаний таких кубиков к стандартным размерам образцов-кубиков с целью определения марки бетона результаты умножают на коэффициенты k , имеющие следующие значения:

при $a \leq 30$ мм	$h = 10$ см	$k = 0,85$;
при a до 40 мм	$h = 15$ см	$k = 0,9$;
при a до 60 мм	$h = 20$ см	$k = 1,0$;
при a более 60 мм	$h = 30$ см	$k = 1,1$.

Если образец твердел в течение n суток, причем n больше или меньше 28, то прочность при 28-суточном возрасте бетона R_{28} определяют по формуле Б. Г.Скрамтаева:

$$R_{28} = R_n \frac{\lg 28}{\lg n},$$

где R_n — прочность бетона после n суток твердения. Эта формула применима только для тяжелых бетонов на портландцементе и только при $n \geq 3$ суток.

В рассматриваемой задаче

$$R_{20} = \frac{P}{F} k = \frac{90\,000}{15 \cdot 15} \cdot 0,9 = 360 \text{ кг/см}^2 \text{ (36 МПа)};$$

$$R_{28} = 360 \frac{\lg 28}{\lg 20} = 360 \frac{1,44716}{1,30102} = 400 \text{ кг/см}^2 \text{ (40 МПа)}.$$

Это и есть марка бетона М 400, что соответствует классу бетона по прочности на сжатие В30.

Пример 5.40. Какие классы бетонов по прочности возможно получить на портландцементе разных марок (300, 400, 500, 600) при расходе цемента $\Pi = 300$ кг/м³ и требуемой подвижности бетонной смеси 4 см? Заполнители для бетона рядовые, максимальная крупность гравия 70 мм.

Решение: Определяем расход воды $B = 155$ л/м³ [14].

Водоцементное отношение

$$\frac{B}{\Pi} = \frac{155}{300} = 0,51, \text{ а } \frac{\Pi}{B} = 2.$$

По условиям задачи применяем формулу

$$R_0 = 0,6 R_n \cdot (\Pi/B - 0,5) = 0,6 \cdot 300(2 - 0,5) = 270 \text{ кгс/см}^2 \text{ (В 20)}.$$

Тогда при	$R_n = 400 \text{ кг/см}^2$	$R_0 = 360 \text{ кгс/см}^2 \text{ (В 25)}$;
	$R_n = 500 \text{ кг/см}^2$	$R_0 = 450 \text{ кгс/см}^2 \text{ (В 35)}$;
	$R_n = 600 \text{ кг/см}^2$	$R_0 = 540 \text{ кгс/см}^2 \text{ (В 40)}$.

Пример 5.41. Для тяжелого бетона применен портландцемент М 400 при водоцементном отношении $B/\Pi = 0,5$.

Установить влияние заполнителей на класс бетона по прочности, рассмотрев бетоны на заполнителях высококачественных, рядовых и пониженного качества. Решить эту задачу также для водоцементного отношения $B/\Pi = 0,35$.

Решение: Прочность бетона

$$R_0 = A R_n \left(\frac{\Pi}{B} - 0,5 \right),$$

где A — коэффициент, учитывающий качество заполнителей (табл. 5.8).

При высококачественных заполнителях

$$R_0 = 0,65 \cdot 400(2 - 0,5) = 390 \text{ кгс/см}^2 \text{ (В 30)}.$$

При рядовых заполнителях

$$R_0 = 0,6 \cdot 400(2 - 0,5) = 360 \text{ кгс/см}^2 \text{ (В 25)}.$$

Прочность бетона снизилась на 7,7 %.

При заполнителях пониженного качества

$$R_0 = 0,55 \cdot 400(2 - 0,5) = 330 \text{ кгс/см}^2 \text{ (В 25)}.$$

Решив эту задачу для $V/C = 0,35$, убеждаемся, что при любых значениях V/C качество заполнителей влияет на прочность бетона.

Пример 5.42. По кубиковой прочности рассчитать для тяжелых бетонов М 200 и М 600 призменную прочность, прочность на сжатие при изгибе, предел прочности при осевом растяжении, прочность на растяжение при изгибе, предел прочности при срезе, модуль деформации при сжатии, прочность сцепления бетона с арматурой. Выразить каждую из этих характеристик для бетона М 600 в процентах от величины соответствующей характеристики для бетона М 200.

Решение: По формуле А. А. Гвоздева призменная прочность

$$R_{пр} = \frac{1300 + R_{к.п}}{1450 + 3R_{к.п}} \cdot R_{к.п},$$

где $R_{к.п}$ — кубиковая прочность тяжелых бетонов, кгс/см².

$$R'_{к.п} = 200 \text{ кгс/см}^2, R''_{к.п} = 600 \text{ кгс/см}^2.$$

$$\begin{array}{ll} \text{Для бетонов} & \text{М 200} & R_{пр} = 146 \text{ кгс/см}^2; \\ & \text{М 600} & R_{пр} = 351 \text{ кгс/см}^2. \end{array}$$

Прочность на сжатие при изгибе $R_{и}$ (по исследованиям ЦНИИСК)

$$\begin{array}{ll} \text{Для бетонов} & \text{М 200} & R_{и} = 1,25 R_{пр}; \\ & & R_{и} = 182,5 \text{ кгс/см}^2; \\ & \text{М 600} & R_{и} = 438,7 \text{ кгс/см}^2. \end{array}$$

Ориентировочно по формуле Фере предел прочности при осевом растяжении

$$\begin{array}{ll} \text{Для бетонов} & \text{М 200} & R_p = 0,5 \sqrt[3]{R_{и}^2}; \\ & \text{М 600} & R_p = 17 \text{ кгс/см}^2; \\ & & R_p = 35 \text{ кгс/см}^2. \end{array}$$

Отношение $R_{р.и}$ (прочность на растяжение при изгибе) к R_p равно 1,5–2,2.

Принимая это отношение равным в среднем 1,7, находим:

$$\begin{array}{ll} \text{для бетонов} & \text{М 200} & R_{р.и} = 28,9 \text{ кгс/см}^2; \\ & \text{М 600} & R_{р.и} = 59,5 \text{ кгс/см}^2. \end{array}$$

Предел прочности при срезе

$$\begin{array}{ll} \text{Для бетонов} & \text{М 200} & R_{ср} = 0,7 \sqrt{R_{р.и} R_p}; \\ & \text{М 600} & R_{ср} = 34,5 \text{ кгс/см}^2; \\ & & R_{ср} = 77,5 \text{ кгс/см}^2. \end{array}$$

Модуль деформации при сжатии

$$E_d = \frac{1\,000\,000}{1,7 + \frac{360}{R}}.$$

$$\begin{array}{ll} \text{Для бетонов} & \text{М 200} & E_d = 285\,714 \text{ кгс/см}^2; \\ & \text{М 600} & E_d = 434\,783 \text{ кгс/см}^2. \end{array}$$

Прочность сцепления бетона с арматурой $R_{с.а}$ в месячном возрасте составляет $(0,15-0,20)R$ и приближается к $R_{ср}$:

$$\begin{array}{ll} \text{для бетона} & \text{М 200} & R_{ср} = 35 \text{ кгс/см}^2, \\ & \text{М 600} & R_{ср} = 90 \text{ кгс/см}^2. \end{array}$$

Анализируя разницу в свойствах бетонов М 200 и М 600, приходим к выводу, что количественная характеристика большинства свойств бетона М 600 в 2–2,5 раза выше, чем у бетона М 200. Разница в модулях деформации лишь в 1,5 раза. Таким образом, чем выше марка бетона, тем выше и другие его прочностные свойства.

Пример 5.43. Для исследования прочности бетона при растяжении существующего дорожного покрытия из последнего вырублены куски образцов шириной $b = 20$ см и высотой $h = 30$ см. Испытание на растяжение проводилось методом, основанным на принципе раскалывания образца двумя силами через круглые стальные стержни диаметром по 3 мм (сжатие). Образцы были раскалоты при среднем усилии $P = 203,0$ кН.

Определить прочность бетона дорожного покрытия на растяжение.

Решение: Метод раскалывания образца позволяет определить прочность бетона при растяжении как на цилиндрических образцах, так и на кусках бетона, вырубленных из покрытия или сооружения. Прочность на растяжение рассчитывается по формуле

$$R_p = \frac{2P}{\pi b h} \text{ МПа},$$

где R_p — предел прочности при растяжении, МПа; P — разрушающая нагрузка, кН; b и h — размеры вырубленного из сооружения образца по ширине и высоте, см.

Тогда

$$R_p = \frac{2 \cdot 203}{3,14 \cdot 20 \cdot 30} = 2,15 \text{ МПа}.$$

Пример 5.44. Определить фактическую среднюю прочность бетона и показатели однородности прочности бетона М 300. Общее количество частных испытаний серий образцов — 15. Результаты испытаний приведены в табл. 5.14.

Таблица 5.14. Результаты испытаний

№ п/п	R, МПа	№ п/п	R, МПа	№ п/п	R, МПа
1	15,4	7	17,4	13	18,3
2	16,5	8	16,6	14	19,0
3	19,0	9	19,0	15	17,1
4	18,3	10	17,8		
5	18,9	11	17,9		
6	19,1	12	17,8		

Решение: Среднюю прочность бетона вычисляют как среднее арифметическое единичных результатов определения прочности

$$R_m = \sum_{i=1}^n R_i / n = \frac{15,4 + 16,5 + \dots + 19,0 + 17,1}{15} = 17,9 \text{ МПа},$$

где R_i — единичный результат (средняя прочность бетона серии образцов); n — число единичных результатов (серий образцов).

Дальнейшие расчеты по определению показателей однородности прочности бетона приведены в табл. 5.13.

Таблица 5.13. Определение расчетных величин

№ п/п	Частные результаты R_i	Число случаев n'	$R_i n'$	$R_i - R_m$	$n'(R_i - R_m)^2$
1	15,4	1	16,4	-1,5	2,25
2	16,5	1	16,5	-1,4	1,96
3	16,6	1	16,6	-1,3	1,69
4	17,1	1	17,1	-0,8	0,64
5	17,4	1	17,4	-0,5	0,25
6	17,8	2	35,6	-0,1	0,02
7	17,9	1	17,9	0	0
8	18,3	2	36,6	0,4	0,32
9	18,9	1	18,9	1,0	1
10	19,0	3	57,0	1,1	3,63
11	19,1	1	19,1	1,2	1,44
	$\sum_{i=1}^n$	15	269,1	—	13,2

Среднее квадратичное отклонение

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2 / (n - 1)} = \sqrt{13,27/14} = 0,97 \text{ МПа}.$$

Коэффициент вариации прочности бетона

$$v = \left(\frac{\delta}{R_m} \right) \cdot 100 = \frac{0,97}{17,9} 100 = 5,4 \%$$

Пример 5.45. При испытании партии из семи бетонных кубиков с ребром $\alpha = 150$ мм в 28-суточном возрасте при нормальном температурно-влажностном режиме твердения бетона получены следующие данные по их временному сопротивлению сжатию в МПа: $R_{1\Phi} = 18,7$; $R_{2\Phi} = 20,4$; $R_{3\Phi} = 21,0$; $R_{4\Phi} = 18,4$; $R_{5\Phi} = 23,6$; $R_{6\Phi} = 24,9$; $R_{7\Phi} = 19,6$.

Определить расчетное сопротивление кубиковой прочности бетона и класс бетона В.

Решение: Фактическая средняя прочность бетона

$$R_{\Phi} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{i\Phi}}{n} = \frac{146,6}{7} = 20,9 \text{ МПа}.$$

Дальнейший расчет проведем в форме таблицы (табл. 5.16).

Таблица 5.16. Определение расчетных величин

n	$R_{i\Phi}$, МПа	$(R_{i\Phi} - R_{\Phi})$	$(R_{i\Phi} - R_{\Phi})^2$
1	18,7	-2,2	4,84
2	20,4	-0,5	0,25
3	21,0	+0,1	0,01
4	18,4	-2,5	6,25
5	23,6	+2,7	7,29
6	24,9	+4,0	16,0
7	19,6	-1,3	1,69
Σ	146,6	—	36,33

Среднее квадратичное отклонение (стандарт)

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{i\Phi} - R_{\Phi})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{36,33}{6}} = 2,46 \text{ МПа}.$$

Коэффициент вариации прочности бетона кубиков

$$v = \frac{\delta}{R_{\phi}} = \frac{2,46}{20,9} = 0,118 < 0,135,$$

где $v = 0,135$ — минимальное значение для тяжелого бетона, установленное нормами.

Тогда нормативная кубиковая прочность

$$R_n = R_{\phi}(1 - 1,64v) = 20,9(1 - 1,64 \cdot 0,118) = 16,85 \text{ МПа.}$$

Расчетное сопротивление бетона кубиков

$$R_p = \frac{R_n}{\gamma_n} = \frac{16,85}{1,3} = 12,96 \text{ МПа,}$$

где $\gamma_n = 1,3$ — коэффициент надежности по бетону при сжатии.

Класс бетона по прочности на сжатие с учетом принятого нормами коэффициента вариации $v = 0,135$:

$$B = R_{\phi}(1 - 1,64v) = 20,9(1 - 1,64 \cdot 0,135) = 16,2 \text{ МПа,}$$

что соответствует классу бетона по прочности на сжатие В 15,0.

Экономия цемента. Пример 5.46. Бетон М 400 имеет состав по массе 1 : 2,1 : 4,3 при В/Ц = 0,5. Средняя плотность бетона $\rho_{с.б.} = 2500 \text{ кг/м}^3$. Какую экономию цемента можно получить на каждом кубометре бетона, если по условиям сдачи сооружения в эксплуатацию прочностью $R_6 = 40,0 \text{ МПа}$ потребуются не 28, а 70 суток?

Решение: Определим расход цемента, воды и активность цемента для бетона М 400:

$$\text{Ц}_1 = \frac{\rho_{с.б.}}{1 + X + Y + B/\text{Ц}} = \frac{2500}{1 + 2,1 + 4,3 + 0,5} = 316,4 \text{ кг.}$$

$$B_1 = \text{Ц}_1 \cdot B_1/\text{Ц}_1 = 316,4 \cdot 0,5 = 158,2 \text{ л.}$$

$$R_u = \frac{R_6}{0,6 \cdot \left(\frac{\text{Ц}_1}{B_1} - 0,5 \right)} = \frac{40,0}{0,6(2 - 0,5)} = 44,4 \text{ МПа.}$$

Для бетона прочностью 40,0 МПа после 70 суток марочная прочность будет составлять

$$R_{28} = 40,0 \cdot \frac{\lg 28}{\lg 70} = 40,0 \cdot \frac{1,44716}{1,84510} = 31,4 \text{ МПа.}$$

Это снижение прочности будет за счет снижения расходов цемента при повышении водоцементного отношения.

Для нового бетона

$$\frac{B_1}{\text{Ц}_2} = \frac{0,6R_u}{R_{28} + 0,5 \cdot 0,6R_u} = \frac{0,6 \cdot 44,4}{31,4 + 0,3 \cdot 44,4} = 0,596.$$

$$\text{Тогда } \text{Ц}_2 = \frac{B_1}{B_1/\text{Ц}_2} = \frac{158,2}{0,596} = 265,0 \text{ кг.}$$

Экономия цемента

$$\Delta \text{Ц} = \text{Ц}_1 - \text{Ц}_2 = 316,4 - 265 = 51,4 \text{ кг, или } 19,4 \text{ \%}.$$

Пример 5.47. Опытным путем установлена оптимальная доза добавки ЛСТМ-2 в бетон М 300 — 0,2 % от массы цемента. Эта добавка при сохранении марки бетона и подвижности бетонной смеси обеспечивает снижение расхода воды на 1 м³ бетона с $B_1 = 178$ до $B_2 = 162 \text{ л}$.

Вычислить экономию цемента на 1 м³ бетона. Заполнители бетона высококачественные, водоцементное отношение больше 0,4.

Решение: Для бетона с добавкой ЛСТМ-2

$$\frac{\text{Ц}_2}{B_2} = \frac{R_6 + 0,3R_u}{0,6R_u},$$

для бетона без добавок ССБ

$$\frac{\text{Ц}_1}{B_1} = \frac{R_6 + 0,3R_u}{0,6R_u}.$$

Так как марки обоих видов бетона одинаковы, марки цемента для их изготовления используются также одни и те же, то $\frac{\text{Ц}_2}{B_2} = \frac{\text{Ц}_1}{B_1}$, т. е. цементоводные отношения равны.

$$\text{Отсюда } C_2 = \frac{B_2}{B_1} \cdot C_1 = \frac{162}{178} \cdot C_1 = 0,91 C_1.$$

Тогда экономия цемента составит 9 %.

Пример 5.48. Определить экономию портландцемента активностью 43,0 МПа на каждом кубометре тяжелого бетона М 300, если производственные условия позволяют, не изменяя водоцементного отношения, перейти от малоподвижной (Ж 25) к жесткой бетонной смеси (Ж 100). Для бетона применен щебень с наибольшей крупностью 20 мм.

Решение: Для бетона с малоподвижной смесью

$$\frac{B_1}{C_1} = \frac{AR_u}{R_b + 0,5 \cdot AR_u} = \frac{0,6 \cdot 430}{300 + 0,5 \cdot 0,6 \cdot 430} = 0,601.$$

Принимая $B_1 = 175$ л (Ж 25, щебень с крупностью 20 мм), определяем

$$C_1 = \frac{B_1}{B_1/C_1} = \frac{175}{0,601} = 291 \text{ кг/м}^3.$$

Для бетона с жесткой смесью

$$B_2 = 160 \text{ л/м}^3,$$

$$\text{тогда } C_2 = \frac{B_2}{B_1/C_1} = \frac{160}{0,601} = 266 \text{ кг/м}^3.$$

Экономия цемента

$$\Delta C = C_1 - C_2 = 291 - 266 = 25 \text{ кг/м}^3,$$

что составляет 8,59 %.

Задачи

5.23. Подобрать состав тяжелого бетона, выразить по массе его лабораторный и производственный составы и определить расход материалов на один замес бетоносмесителя с емкостью барабана 1,5 м³. Средняя прочность бетона 25 МПа, подвижность бетонной смеси 2 см, активность портландцемента 50 МПа с истинной и насыпной плотностями соответственно 3070 и 1100 кг/м³. Мелкий заполнитель — песок кварцевый с

истинной плотностью 2580 кг/м³, насыпной плотностью 1540 кг/м³ и влажностью 5 %. В качестве крупного заполнителя использован щебень с наибольшей крупностью зерен 20 мм, истинной плотностью 2650 кг/м³, насыпной плотностью 1520 кг/м³ и влажностью 2 %. Минимальный расход цемента — 220 кг/м³.

5.24. Определить коэффициент выхода, среднюю и истинную плотности, а также пористость цементного бетона, если для получения 100 м³ бетонной смеси с В/Ц = 0,7 израсходовано цемента 32 т, песка 45 м³ и щебня 78 м³. Насыпные плотности: цемента — 1300 кг/м³, песка — 1500 кг/м³ и щебня — 1450 кг/м³. Истинные плотности: цемента — 3,1 г/см³, смеси заполнителей — 2,65 г/см³. Количество химически связанной воды составляет 20 % от массы цемента.

5.25. Рассчитать производственный состав бетонной смеси в виде соотношения 1 : X : Y при В/Ц = Z, если после корректировки ориентировочного состава установлено, что расходы цемента, песка, щебня и воды на 1 м³ бетонной смеси соответственно составляют 400, 600, 1300 кг и 180 л, при этом щебень имеет влажность 1 %, а песок — 3 % по массе.

5.26. Какой необходимо иметь расход цемента для бетонирования монолитной облицовки объемом 300 м³, если марка бетона 300, марка цемента 400, водопотребность бетонной смеси 190 л/м³?

5.27. Установить расход воды для бетонирования лотковой сети общей длиной 2500 м, шириной 3,0 м при ее толщине 10 см, если бетон средней прочности марки 200 (В 12,5), цемент марки 300, заполнители пониженного качества, а расход цемента составляет 400 кг/м³.

5.28. По расходу материалов на 1 м³ бетона (Ц = 280 кг, П + 675 кг, Ц = 1300 кг, В = 168 л) определить расчетную плотность свежееуложенной бетонной смеси; плотности бетона после взаимодействия с цементом 20 % воды от массы цемента; пористость бетона, образовавшуюся в результате исторения воды.

5.29. Определить коэффициент выхода и среднюю плотность гидротехнического бетона, если для получения 450 м³ его израсходовано 136 т цемента, 225 м³ песка, 415 м³ щебня. Насыпные плотности: цемента — 1300 кг/м³, песка — 1400 кг/м³, щебня — 1500 кг/м³.

5.30. Определить коэффициент выхода бетонной смеси и расход материалов на замес бетоносмесителя вместимостью 1500 л (по за-

грузке). Состав бетона по массе 1: 2: 4 при $V/C = 0,5$ и расходе цемента 320 кг на 1 м^3 бетона. Средняя насыпная плотность цемента $1,3 \text{ кг/л}$, песка — $1,55 \text{ кг/л}$, щебня — $1,5 \text{ кг/л}$.

5.31. У двух одинаковых составов бетона разные коэффициенты выхода бетона — 0,60 и 0,65. Что является причиной различия коэффициентов?

5.32. Рассчитать расход материалов на замес бетоносмесителя вместимостью (по загрузке) 500 л, если расход сухих материалов на 1 м^3 бетона составляет: цемент — 330 кг, песок — 600 кг, щебень — 1270 кг, вода — 177 л.

Средняя насыпная плотность цемента $1,30 \text{ кг/л}$, песка — $1,65 \text{ кг/л}$, щебня — $1,48 \text{ кг/л}$, влажность песка — 3 %, щебня — 1 %.

5.33. Определить расход материалов на один замес бетоносмесителя вместимостью 1200 л, если на 1 м^3 бетона расходуется 300 кг цемента, 600 кг песка, 1200 щебня и 150 л воды. Насыпная плотность цемента равно 1300 кг/м^3 , а истинная плотность щебня — 2650 кг/м^3 при его пустотности 41 %.

5.34. Сколько потребуется замесов бетоносмесителя вместимостью 2400 л для приготовления 50 м^3 бетона, если коэффициент выхода бетона равен 0,65?

5.35. Определить состав 1 м^3 тяжелого бетона М 300 для изготовления плит покрытий промышленных зданий по огрегатно-поточной технологии (подвижность бетонной смеси 4 см).

Характеристики материалов: вяжущее вещество — портландцемент, НГ_{II} — 28 %, активность — 45 МПа, истинная плотность — $3,1 \text{ кг/л}$; мелкий заполнитель — песок кварцевый фракционированный средней крупности 2,4, водопотребность — 7 %, истинная плотность — $2,63 \text{ кг/л}$; крупный заполнитель — щебень гранитный фракционированный, с наибольшей крупностью 40 мм, истинной плотностью $2,7 \text{ кг/л}$, насыпной плотностью $1,6 \text{ кг/л}$ и пустотностью 41 %.

5.36. Определить расход материалов на 1 м^3 бетона М 200, предназначенного для изготовления панелей внутренних стен по касетной технологии (подвижность бетонной смеси 10...12 см).

Характеристики материалов: портландцемент М 400, нормальная густота цементного теста 27 %, истинная плотность $3,1 \text{ кг/л}$; песок кварцевый фракционированный с модулем крупности 1,8, водопотребностью 7 % и истинной плотностью $2,58 \text{ кг/л}$; щебень гранитный, фракционирован-

ный: наибольшая крупность 20 мм, истинная плотность $2,68 \text{ г/см}^3$, насыпная плотность $1,58 \text{ кг/л}$, пустотность — 41 %.

5.37. На заводе железобетонных изделий для изготовления блоков стен подвалов используется щебень с наибольшей крупностью 20 мм. Определить изменение водопотребности бетонной смеси и расхода цемента на 1 м^3 бетона, если на завод вместо щебня завезен гравий той же крупности. Изделия изготавливаются из бетонной смеси подвижностью П 6 см и $V/C = 0,6$.

5.38. Запроектировать лабораторный и производственный составы гидротехнического бетона для водобойной стенки и плиты открытого перепада при следующих исходных данных. Зона использования бетона: по отношению к воде — надводная; по месту расположения конструкции — наружная; по климатическим условиям — суровая; по агрессивности внешней среды — средняя. Проектные марки бетона: класс бетона по прочности на сжатие В 12,5 (М 200); водонепроницаемость W 0,6 (МПа); морозостойкость F 300 (циклов).

Материалы: портландцемент М 500 с истинной плотностью 3100 кг/м^3 ; песок средней крупности, с влажностью 5 % и истинной плотностью 2610 кг/м^3 ; гранитный щебень с влажностью 3 %, максимальной крупностью 20 мм, истинной плотностью 2600 кг/м^3 и пустотностью 45 %. Качество материалов среднее.

5.39. Найти расход щебня по массе и объему в естественном состоянии, который необходим для бетонирования основания шлюзо-регулятора (объем бетона $40,5 \text{ м}^3$), если истинная плотность щебня составляет 2650 кг/м^3 , его пустотность — 45 % и коэффициент раздвижки зерен щебня — 1,3.

5.40. Рассчитать расход материалов на 1 м^3 бетона М 300 для формирования плит покрытий промышленных зданий, изготавливаемых по полуконвейерной технологии. Подвижность бетонной смеси 2 см. Характеристики материалов: вяжущее вещество — портландцемент активностью 45 МПа, нормальная густота — 26 %, истинная плотность — $3,1 \text{ кг/л}$; мелкий заполнитель — песок кварцевый фракционированный, модуль крупности — 2,5, водопотребность — 7 %, истинная плотность — $2,6 \text{ кг/л}$; крупный заполнитель — щебень гранитный фракционированный предельной крупности 20 мм, истинная плотность — $2,65 \text{ кг/л}$, средняя насыпная плотность — $1,5 \text{ кг/л}$.

5.41. Определить коэффициент раздвижки зерен щебня цементно-песчаным раствором в бетонной смеси и коэффициент ее уплотнения, если номинальный состав бетона по объему составляет 1:2,1:3,7 при $V/C = 0,5$, а средняя плотность равна 2450 кг/м^3 . Насыпная и истинная

плотности компонентов бетонной смеси соответственно равны, кг/м^3 : цемента — 1300, 3100; песка — 1560, 2650; щебня — 1510, 2620.

5.42. Железобетонная плита толщиной 0,22 м формируется на виброплощадке с частотой колебаний 2500 кол/мин и амплитудой 0,5 мм.

Определить величину максимального уплотняющего давления, возникающего в толще формируемой плиты, если формование осуществляется с пригрузкой 150 г/см^2 при средней плотности бетонной смеси 2410 кг/м^3 .

5.43. Железобетонные ненапорные трубы с внутренним диаметром 500 мм и толщиной стенки 40 мм, формируемые путем центрифугирования, изготавливаются из тяжелого бетона средней плотностью 2350 кг/м^3 .

Какое наименьшее число оборотов формы необходимо иметь, чтобы обеспечить оптимальное распределение и уплотнение бетонной смеси?

5.44. Установить степень плотности уложенной бетонной смеси при следующих данных: состав бетона по массе 1:2,4:4,6 при $\text{В/Ц} = 0,6$, расчетная средняя плотность бетонной смеси 2320 кг/м^3 , истинная плотность цемента $3,1 \text{ г/см}^3$, песка $2,6 \text{ г/см}^3$ и щебня $2,62 \text{ г/см}^3$.

Влияние уплотнения на плотность бетона можно не учитывать.

5.45. Номинальный состав бетона по объему 1:2,1:3,5 при $\text{В/Ц} = 0,55$. На 1 м^3 расходуется 310 кг цемента с насыпной плотностью 1250 кг/м^3 . Для изготовления бетона использовали щебень и песок с влажностью 2 и 4 %, насыпной плотностью 1450 и 1400 кг/м^3 соответственно (в сухом состоянии).

Определить расход материалов на 200 м^3 бетона по массе и его номинальный состав по объему.

5.46. При нормальных условиях твердения бетон набирает марочную прочность, когда расход цемента составляет 320 кг на 1 м^3 бетона и $\text{Ц/В} = 2$. Насколько следует повысить расход цемента, если при используемом режиме пропаривания бетон через 28 суток приобретает 85 % проектной прочности?

5.47. Сколько необходимо безводного хлористого кальция и раствора 33%-й концентрации (плотность $1,315 \text{ г/см}^3$) на 1 м^3 бетона для ускорения твердения, если расход цемента равен 380 кг на 1 м^3 бетона, а расход хлористого кальция — 2 % от массы цемента?

5.48. В бетон, имеющий состав по массе 1: 2: 4 при $\text{В/Ц} = 0,45$ и расход цемента 300 кг/м^3 , введено пластифицирующая добавка С-1, равная 0,04 % (от массы цемента), что снизило водоцементное отношение

на 10 % и среднюю плотность бетонной смеси на 5 %. Определить расход материалов на 1 м^3 бетона, среднюю плотность этого бетона, увеличение пористости, вызванной добавкой С-1.

5.49. Бетон № 1 на рядовых заполнителях и портландцементе с активностью 550 кг/см^2 за 3 суток твердения в нормальных условиях набрал прочность 100 кг/см^2 . Бетон № 2 такого же состава, но с добавкой хлористого кальция, за тот же срок набрал в два раза большую прочность. Определить, при каком перерасходе цемента на 1 м^3 бетона № 1 можно получить прочность 200 кг/см^2 через 3 суток без добавок CaCl_2 , но при снижении водоцементного отношения, т. е. при сохранении расхода воды.

5.50. В бетонную смесь, изготовленную на рядовых заполнителях с расходом портландцемента (М 400) 350 кг/м^3 и водоцементным отношением 0,5, введено 2 % от массы цемента хлористого кальция. При этом прочность бетона через 3 суток твердения в нормальных условиях с добавкой оказалась выше прочности бетона без добавки в два раза, через 7 суток — на 50 %, через 28 суток — на 11 %. Определить прочность обоих видов бетона и построить графики роста прочности обоих видов бетона во времени.

5.51. Сколько потребуется ввести пластифицирующей добавки ЛСТ 10%-й концентрации (истинная плотность 1400 кг/м^3) на 1 м^3 бетона, если расход цемента составляет 350 кг/м^3 , $\text{В/Ц} = 0,5$, расход ЛСТ — 0,25 % от массы цемента (в расчете на сухое вещество)?

5.52. Какую прочность наберет бетон марки М 200, который был уложен подогретым до $+35^\circ\text{C}$, затем твердел в течение 7 суток, остывая до $+5^\circ\text{C}$? Для его изготовления был использован пуццолоновый портландцемент М 400.

5.53. Определить теплотраты на нагрев воды от начальной температуры $+15^\circ\text{C}$ до конечной $+90^\circ\text{C}$, идущей на изготовление бетона, а также теоретический расход топлива без учета коэффициента полезного действия калорифера.

Расход воды для бетона принять по примеру 5.20.

5.54. В бетонную смесь с расчетной маркой М 200, которая была уложена в подогретом состоянии и твердела в течение 10 суток, остывая от $+30^\circ\text{C}$ до $+5^\circ\text{C}$, введена добавка хлористого кальция в количестве 1 % от массы цемента.

Определить, какую прочность наберет бетон за 10 суток, если для его изготовления применен пуццолановый портландцемент М 400. Достаточна ли эта прочность для получения бетона расчетной марки после оттаивания?

5.55. При испытании на сжатие образца-куба с ребром 20 см из тяжелого бетона через 15 суток твердения в нормальных условиях среднее значение разрушающего усилия было равно 750 кН.

Определить марку и класс бетона, приготовленного на портландцементе. Построить график роста прочности бетона во времени, вычислив прочности бетона после 3, 6, 9 и 12 месяцев твердения в нормальных условиях. Выразить эти прочности бетона в процентах от марки.

5.56. На растворобетонный узел мелиоративной ПМК передан лабораторный состав бетона: Ц = 300 кг, П = 650 кг, Щ = 1300 кг, В = 150 л. Активность цемента 45 МПа. Насколько снизится прочность бетона, если не будет учтена влажность песка 2 % и щебня 3 %?

5.57. Состав бетона № 1 (1 м³): цемента — 320 кг, песка — 650 кг, щебня — 1300 кг и воды — 200 л/м³. Бетон № 2 имеет такой же состав, но воды на 40 л меньше, т. е. 160 л/м³.

Какое влияние окажет данное снижение воды на пористость бетона в тот момент затвердения, когда 20 % воды (от массы цемента) вступят в химическую реакцию с цементом, а остальная вода испарится?

5.58. Как будет меняться расход цемента в бетоне М 200, если для его изготовления применять портландцемент различных марок (300, 400, 500), сохраняя при этом жесткость бетонной смеси 50 с? Заполнители бетона пониженного качества. Максимальная крупность щебня 10 мм.

Построить график зависимости расхода цемента от его активности.

5.59. Как изменится расход шлакопортландцемента М 400 на 1 м³ бетона М 300 с жесткостью бетонной смеси 15 с, если марки бетона изготовлены на разных по качеству заполнителях. Рассмотреть марки бетона на высококачественных, рядовых заполнителях и заполнителях пониженного качества. Максимальный размер щебня принять 10 мм.

5.60. Для тяжелого бетона применен портландцемент М 400 при водоцементном отношении 0,5.

Установить влияние заполнителей на марку бетона и построить график, определив марки бетона на заполнителях высококачественных, рядовых и пониженного качества. Решить эту задачу также для водоцементного отношения 0,35.

5.61. Для тяжелого бетона на высококачественных заполнителях применен портландцемент М 500.

Какие марки бетона возможно получить при водоцементных отношениях 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7? Построить графики зависимости прочности бетона от водоцементных и цементоводных отношений.

5.62. Как снизится предел прочности бетона при сжатии, если в производственных условиях не будет учтено влажность щебня, равная 2 %, и влажность песка 35 %?

Лабораторный состав бетона следующий: цемента — 380 кг/м³; песка — 610 кг/м³; щебня — 1250 кг/м³ и воды — 190 л/м³.

5.63. Определить пористость бетона, изготовленного из смеси с В/Ц, равным 0,5 и 0,65. В обоих случаях количество воды затворения составило 190 л/м³, а воды, связанной с цементом, — 15 % от массы цемента.

Поры, образованные вовлечением в бетон воздухом, не учитывать. Условие задачи относится к бетонам на абсолютно плотных заполнителях.

5.64. Вычислить перерасход портландцемента М 500 на 1 м³ тяжелого бетона М 400, если в производственных условиях уплотнение бетонной смеси довести лишь до 92 % вместо 98 %. Требуемая подвижность бетонной смеси 2,5 см. Заполнители бетоно рядовые. Наибольший размер крупного заполнителя 40 мм.

5.65. Определить фактическую среднюю прочность бетона, расчетное сопротивление кубиковой прочности бетона и класс его по прочности на сжатие, если при испытании партии из 15 бетонных кубиков с ребром 200 мм в 28-суточном возрасте при нормальном температурно-влажностном режиме твердения получены следующие данные по их временному сопротивлению сжатию (табл. 5.17).

Таблица 5.17. Результаты испытаний

№ п/п	R, МПа	№ п/п	R, МПа	№ п/п	R, МПа
1	13,2	6	13,1	11	12,8
2	12,5	7	11,5	12	12,3
3	13,3	8	11,7	13	13,5
4	10,3	9	13,2	14	14,5
5	12,9	10	11,4	15	12,9

5.66. На заводе крупнопанельного домостроения плиты перекритий изготавливаются в кассетных установках (подвижность бетонной смеси 10...12 см). После реконструкции цеха эти изделия будут изготавливаться по конвейерной технологии с использованием жестких бетонных смесей $J_0 = 30$. Определить предполагаемую годовую экономию цемента в тоннах при мощности цеха 30 тыс. м³ бетона в год, если изготовление изделий ведется из бетона М 200 на цементе М 400 с использованием высококачественных заполнителей. Наибольшая крупность щебня 40 мм.

5.67. При изготовлении тяжелого бетона М 300 использованы портландцемент активностью 45 МПа и щебень с наибольшей крупностью 20 мм пониженного качества. Производственные условия позволяют, не изменяя водоцементного отношения, перейти от подвижной (осадка конуса 2 см) к малоподвижной (жесткость 25 с по техническому вискозиметру).

Определить экономию портландцемента на каждом кубическом метре бетона.

5.68. Вычислить экономию цемента на 1 м³ бетона М 400 при высококачественных заполнителях и водоцементном отношении меньше 0,4, если опытным путем установлена оптимальная доза добавки С-1 в бетон — 0,3 % от массы цемента. Указанная добавка при сохранении марки бетона и подвижности бетонной смеси обеспечивает снижение расхода воды на 1 м³ бетона на 10 %, если расход воды без добавки С-1 составляет 185 л/м³.

Расчет состава бетона на пористых заполнителях. Пример 5.49. Подобрать состав керамзитобетона М 200 для изготовления наружных стен двухэтажного здания, возводимого из монолитного бетона методом подвижных щитов. Средняя плотность бетона в сухом состоянии $\rho_{с,б} = 1600$ кг/м³, а подвижность бетонной смеси — 9 см.

Характеристика материалов: цемент — М 400; песок природный, истинной плотностью $\rho_{н,п} = 2,6$ кг/л, водопотребностью 7 %; керамзитовый гравий М 700, фракции 5 – 10 и 10 – 20 мм. Насыпная плотность смеси фракции $\rho_{н,г} = 650$ кг/м³, а плотность зерен в цементном тесте $\rho_{н,ц} = 1,3$ кг/л, прочность при сжатии в цилиндре 5,5 МПа. Марка керамзитового гравия по прочности 200, межзерновая пустотность — 0,42.

Решение:

I. Расчет расхода материала на 1 м³ бетона.

1. Определяем расход цемента.

Для бетона М 200, по данным табл. 5.18, расход цемента составляет 280 кг.

Таблица 5.18. Ориентировочный расход цемента для расчета состава бетона на пористых заполнителях

Марка бетона	Рекомендуемая марка цемента	Расход цемента при марке пористого заполнителя по прочности, кг/м ³						
		75	100	125	150	200	250	300
150	400	300	280	260	240	230	220	210
200	400	—	340	320	300	280	260	250
250	400	—	—	390	360	330	310	290
300	500	—	—	—	420	390	360	330
350	500	—	—	—	—	450	410	380
400	500	—	—	—	—	—	480	450
500	600	—	—	—	—	—	570	540

Примечание. Данные табл. 5.18 справедливы для бетонных смесей жесткостью 20...30 с, изготовленных на крупных пористых заполнителях с предельным размером зерен 20 мм и плотном песке. При использовании цементов, марки которых не соответствуют рекомендованным в табл. 5.18, при применении пористых песков, изменении предельной крупности заполнителя или подвижности бетонной смеси ориентировочные расходы цемента умножают на коэффициенты, приведенные в табл. 5.19.

Согласно исходным данным, а именно подвижности бетонной смеси, равной 9 см, определяем коэффициент изменения расхода цемента $K = 1,25$.

Тогда расход цемента с учетом поправочного коэффициента составит

$$Ц = 280 \cdot 1,25 = 350 \text{ кг.}$$

2. Определяем ориентировочный расход воды по данным табл. 5.20:

$$B_0 = 220 \text{ л.}$$

Таблица 5.19. Коэффициенты изменения расходов цемента при изготовлении легких бетонов

Характеристика применяемых материалов и бетонных смесей	Значение коэффициента изменения расхода цемента для бетона марок						
	150	200	250	300	350	400	500
Цемент:							
М 300	1,15	1,2	—	—	—	—	—
М 400	1,0	1,0	1,0	1,15	1,2	1,25	—
М 500	0,9	0,88	0,85	1,0	1,0	1,0	1,1
М 600	—	—	0,8	0,9	0,88	0,85	1,0
Песок:							
плотный;	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
пористый или смесь	—	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
Крупный заполнитель с $D_{\text{пшб}}$, мм:							
40	0,9	0,9	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95
20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,1	1,1	1,07	1,07	1,05	1,05	1,05
Бетонные смеси:							
жесткостью (по техническому вискозиметру), с							
20...30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30...50	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
50...80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
подвижностью, см:							
1...2	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
3...7	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
8...12	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

Таблица 5.20. Начальный расход воды для приготовления бетонной смеси с использованием плотного песка

Осадка конуса, см	Жесткость (по техническому вискозиметру), с	Расход воды при использовании в качестве заполнителя, л/м³					
		пористого гравия с предельной крупностью, мм			пористого щебня с предельной крупностью, мм		
		10	20	40	10	20	40
8-12	—	235	220	205	265	250	235
3-7	—	220	205	190	245	230	215
1-2	10-20	205	190	175	225	210	195
—	20-30	195	180	165	215	200	185
—	30-50	185	170	160	200	185	175
—	50-80	175	160	150	190	175	165

3. Определяем объемную концентрацию керамзитового гравия по данным табл. 5.21.

При средней плотности бетона в сухом состоянии 1600 кг/м³ и плотности зерен крупного заполнителя в цементном тесте 1,3 кг/л его объемная концентрация $\phi = 0,41$.

Таблица 5.21. Объемная концентрация крупного заполнителя для легких бетонов на плотном песке

Р _б , кг/м ³	Р _з , кг/л	Объемная концентрация заполнителя ф при водонепотребности, %								
		6			8			10		
		Расход воды, л								
		160	200	240	160	200	240	160	200	240
1300	0,8	0,5	0,47	0,43	0,49	0,46	0,42	0,49	0,45	0,41
	1,0	0,53	0,5	0,46	0,53	0,49	0,46	0,52	0,49	0,45
	1,2	—	0,53	0,5	—	0,53	0,49	—	0,52	0,49
1400	0,8	0,47	0,43	0,39	0,46	0,42	0,37	0,45	0,41	0,35
	1,0	0,5	0,47	0,42	0,5	0,46	0,41	0,49	0,45	0,4
	1,2	0,54	0,5	0,46	0,53	0,49	0,45	0,52	0,49	0,44
1500	0,8	0,44	0,39	0,33	0,42	0,37	0,3	0,41	0,35	0,24
	1,0	0,47	0,43	0,38	0,46	0,41	0,35	0,45	0,40	0,32
	1,2	0,50	0,46	0,42	0,50	0,45	0,40	0,48	0,44	0,38
1600	1,4	—	0,50	0,46	—	0,49	0,45	—	0,48	0,43
	0,8	0,4	0,34	0,22	0,37	0,3	—	0,35	0,24	—
	1,0	0,43	0,38	0,32	0,42	0,35	0,25	0,39	0,32	—
1700	1,2	0,47	0,42	0,35	0,46	0,40	0,30	0,44	0,38	0,27
	1,4	0,50	0,46	0,41	0,50	0,45	0,39	0,48	0,43	0,36
	1,6	0,54	0,50	0,45	0,53	0,49	0,44	0,53	0,48	0,43
1800	1,0	0,39	0,31	—	0,36	0,26	—	0,32	—	—
	1,2	0,43	0,38	0,27	0,41	0,33	—	0,38	0,28	—
	1,4	0,47	0,41	0,33	0,45	0,39	0,30	0,43	0,36	0,29
1800	1,6	0,50	0,46	0,40	0,49	0,44	0,37	0,48	0,42	0,31
	1,8	0,54	0,50	0,45	0,53	0,49	0,43	0,53	0,48	0,41
	1,2	0,37	0,30	—	0,33	—	—	—	—	—
1800	1,4	0,42	0,34	0,25	0,39	—	—	0,36	—	—
	1,6	0,45	0,40	0,26	0,45	0,37	0,25	0,42	0,30	—
	1,8	0,51	0,45	0,38	0,49	0,44	0,30	0,48	0,41	0,27
1800	2,0	—	0,50	0,44	—	0,49	0,42	—	0,48	0,44

Примечание. Значения ϕ даны при расходе цемента 300 кг/м³. При большем расходе цемента значения ϕ возрастают приблизительно на 0,01 на каждые 100 кг/м³ цемента, при уменьшении расхода цемента — соответственно сокращаются.

Учитывая, что данные табл. 5.21 справедливы при расходе цемента 300 кг на 1 м³ бетона, увеличиваем значение ϕ на 0,005, тогда объемная концентрация составит 0,415. По данным табл. 5.22 определяем, что полученное значение отличается от оптимального $\phi = 0,41$ при пустотности керамзитового гравия 0,42 и подвижности бетонной смеси более 3 см на 0,005, что допустимо.

Таблица 5.22. Оптимальная объемная концентрация крупного заполнителя

Межзерновая пустотность заполнителя	Объемная концентрация крупного заполнителя при		
	жесткости свыше 30 с (по техническому вискозиметру)	осадке конуса 1...2 см или жесткости 10...30 с	осадке конуса 3 см и более
0,36	0,52	0,49	0,47
0,38	0,50	0,47	0,45
0,4	0,48	0,45	0,43
0,42	0,46	0,43	0,41
0,44	0,44	0,41	0,39
0,46	0,42	0,39	0,37
0,48	0,40	0,37	0,35
0,5	0,38	0,35	0,33
0,52	0,36	0,33	0,31
0,54	0,34	0,31	0,29

4. Определяем расход керамзитового гравия

$$K = 1000 \cdot \phi \cdot \rho_{в.з} = 1000 \cdot 0,415 \cdot 1,3 = 539,5 \text{ кг.}$$

5. Определяем расход песка плотного

$$П = \rho_0 - 1,15Ц - K = 1600 - 1,15 \cdot 350 - 539,5 = 658 \text{ кг.}$$

6. Определяем общий расход воды с учетом поправок: на объемную концентрацию керамзитового гравия

$$B_1 = 2000 (\phi - 0,37)^2 = 2000 (0,415 - 0,37)^2 = 4,05 \text{ л;}$$

на расход цемента $B_2 = 0$, так как расход цемента по расчету меньше 450 кг;

на водопотребность плотного песка

$$B_3 = 0,01П(B_0 - 7) = 0,01 \cdot 658,0(6 - 7) = -6,58 \text{ л.}$$

Общий расход воды

$$B = B_0 + B_1 + B_2 + B_3 = 220 + 4,05 + 0 - 6,58 = 217,5 \text{ л.}$$

II. Расчет расхода материалов на пробный замес.

Учитывая, что из каждого замеса нужно изготовить шесть образцов-кубов размерами 15 × 15 × 15 см, объем замеса составит

$$V_3 = 6 \cdot V_{\kappa} = 6 \cdot 3,4 = 20,4 \text{ л.}$$

Тогда расход материалов на пробный замес объемом 20,4 л составит:

$$Ц = \frac{350}{1000} 20,4 = 7,17 \text{ кг; } K = \frac{539}{1000} 20,4 = 11,0 \text{ кг;}$$

$$П = \frac{658,0}{1000} 20,4 = 13,4 \text{ кг; } B = \frac{217,5}{1000} 20,4 = 4,4 \text{ л.}$$

III. Корректировка состава и расчет фактического расхода материалов на 1 м³ бетона.

Готовим пробный замес и определяем его подвижность. Допустим, что она оказалась меньше заданной. Тогда для получения требуемой подвижности в смесь добавляем воду. Предположим, что пришлось добавить 0,2 л, а фактическая плотность бетонной смеси в уплотненном состоянии оказалась равной 1734 кг/м³.

1. Определяем массу материалов, израсходованных на замес:

$$\Sigma m = Ц + П + K + (B + 0,2) = 7,14 + 13,4 + 11,0 + (4,4 + 0,2) = 36,1 \text{ кг.}$$

2. Определяем фактический объем пробного замеса

$$V = \frac{\Sigma m}{\rho_{ф}} = \frac{36,1}{1,73} = 20,9 \text{ л} = 0,0209 \text{ м}^3.$$

3. Фактический расход материалов на 1 м³ бетона составит

$$Ц_{ф} = \frac{7,14}{0,0209} = 342 \text{ кг; } П_{ф} = \frac{13,4}{0,0209} = 64 \text{ кг;}$$

$$K_{ф} = 526 \text{ кг; } B_{ф} = 211 \text{ л.}$$

Пример 5.50. Подобрать состав керамзитобетона с пределом прочности при сжатии 30 МПа, отпускной прочностью после тепловой обработки 70 % проектной марки, плотностью в сухом состоянии $\rho_{с.сух} = 1700 \text{ кг/м}^3$, жесткостью 20–30 с.

Характеристика исходных материалов: цемент М 400, песок плотный с истинной плотностью $\rho_{пл} = 2,6 \text{ г/см}^3$ и водопотребностью 8 %, гравий керамзитовый марки 800. Характеристика гравия приведена в табл. 5.23.

Таблица 5.23. Характеристика керамзитового гравия

Показатель	Фракция 5–10 мм	Фракция 10–20 мм	Смесь двух фракций
Насыпная плотность $\rho_{пл}$, кг/м ³	774	757	760
Средняя плотность зерен в цементном тесте $\rho_{з,т}^{ут}$, кг/л	1,46	1,41	1,43
Прочность в цилиндре $R_{з,т}$, МПа	5,91	4,2	4,88
Межзерновая пустотность P_m	0,425	0,442	0,42

Решение: Подбор состава керамзитобетона проведем в соответствии с рекомендациями [19].

Примем соотношение фракций керамзитового гравия 5–10 и 10–20 мм 40:60 % по массе и рассчитаем среднюю плотность зерен керамзитового гравия в цементном тесте по формуле

$$\rho_{з,т}^{ут} = \frac{100}{\frac{\chi_1}{\rho_{з,т(1)}^{ут}} + \frac{\chi_2}{\rho_{з,т(2)}^{ут}}} = \frac{100}{\frac{40}{1,46} + \frac{60}{1,41}} = 1,43 \text{ кг/л.}$$

где χ_1, χ_2 — процентное содержание отдельных фракций по массе, %; $\rho_{з,т(1)}^{ут}, \rho_{з,т(2)}^{ут}$ — плотность в цементном тесте, кг/л.

Рассчитываем среднюю прочность гравия по формуле

$$R_{з,т} = 0,01 (R_{з,т(1)} \cdot \chi_1 + R_{з,т(2)} \cdot \chi_2) = (0,01(5,91 \cdot 40 + 4,2 \cdot 60)) = 4,88 \text{ МПа.}$$

где $R_{з,т(1)}, R_{з,т(2)}$ — прочность отдельных фракций гравия при сдавливании в цилиндре, МПа.

Полученные данные записываем в табл. 5.23.

Расчет и подбор состава керамзитобетона выполняем в следующей последовательности.

1. Расчет ориентировочного состава керамзитобетона. Определяем расход цемента в зависимости от заданного класса бетона, активности цемента, наибольшей крупности керамзитового гравия и удобоукладываемости бетонной смеси.

Для гравия с $R_{з,т} = 4,88 \text{ МПа}$ при сдавливании в цилиндре соответствует марка гравия по прочности П200. Для бетона с предела прочности при сжатии 30 МПа (В 25) и гравия марки П200 рекомендуется (см. табл. 5.18) ориентировочный расход цемента М500–390 кг. В этом примере принят цемент М400, поэтому следует ввести поправочный коэффициент, который принимается по данным табл. 5.19 и равен 1,15. Тогда расход цемента составит

$$Ц = 390 \cdot 1,15 = 448 \text{ кг/м}^3.$$

Определим ориентировочный начальный расход воды в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси и наибольшей крупности керамзитового гравия.

Для бетонной смеси жесткостью 20–30 с на гравии с наибольшей крупностью зерен 20 мм расход воды составит $B = 180 \text{ кг (л)}$.

Определим расход керамзитового гравия по формуле

$$K = 1000 \cdot \phi \cdot \rho_{з,т}^{ут} = 1000 \cdot 0,385 \cdot 1,42 = 547 \text{ кг.}$$

Объемную концентрацию гравия ϕ определяем в зависимости от расхода цемента и воды, заданной средней плотности бетона, плотности зерен гравия в цементном тесте и водопотребности песка по данным табл. 5.21. При этом значение ϕ не должно превышать больше чем на 0,05 величины, определенной по данным табл. 5.21. Иначе следует применять более легкий керамзитовый гравий.

Для бетона с $\rho_k = 1700 \text{ кг/м}^3$, расходом цемента 448 кг/м³ на гравии со средней плотностью зерен в цементном тесте $\rho_{з,т}^{ут} = 1,42 \text{ кг/л}$, на плотном песке $B_n^{на} = 8 \%$, $\phi = 0,385$.

Расход плотного песка в зависимости от средней плотности бетона, расхода цемента и керамзитового гравия будет равен

$$П = \rho_k - 1,15Ц - K = 1700 - 1,15 \cdot 448 - 547 = 637,8 \text{ кг/м}^3.$$

Уточняем расход воды с учетом поправок на расходы гравия, цемента, а также водопотребности песка по формуле

$$B = B_0 + B_k + B_u + B_n^{на},$$

где B_0 — ориентировочный расход воды, л/м³:

$$B_0 = 180 \text{ л/м}^3,$$

B_k — поправка на объемную концентрацию керамзитового гравия, л/м³:

$$B_k = 2000(\phi - 0,37)^2 = 2000(0,385 - 0,37)^2 = 0,45 \text{ л;}$$

B_u — поправка на расход цемента, определяемая по формуле

$$B_u = 0,15(C - 450) = 0,15(488 - 450) = 0,30 \text{ л/м}^3;$$

$B_{лн}$ — поправка на водопотребность плотного песка, кг/м³;

$$B_{лн} = \frac{0,02(B_n - 7)}{P_n^{пл}} \approx 0,01P(B_n - 7) = 0,01 \cdot 637,8(8 - 7) = 6,37 \text{ л.}$$

Тогда общий расход воды

$$B = 180 + 0,45 - 0,3 + 6,37 = 187 \text{ л/м}^3.$$

Таким образом, расход материалов в килограммах на 1 м³ керамзитобетонной смеси исходного состава составил: цемента — 448, песка — 637,8, керамзитового гравия — 547, воды — 187 л. Итого — 1819,8 кг.

2. Экспериментальная проверка и корректировка состава бетона заключаются в следующем. Вычисляем расход материалов в килограммах на опытный замес. Объем замеса примем для шести образцов-кубиков размером 15 × 15 × 15 см, что составит 6 · 3,4 + 2 = 22,4 л. Тогда расход материалов в килограммах равен: цемента — 448 × 0,022 = 9,856, песка — 637,8 · 0,022 = 14,032, керамзитового гравия — 547 · 0,022 = 12,034, воды — 187 · 0,022 = 4,114. Итого — 40,036 кг.

Проверяем удобоукладываемость бетонной смеси. Допустим, оказалось, что вместо принятой жесткости 20–30 с фактически она составила 35 с. Для получения заданной жесткости бетонной смеси добавим 0,154 л воды на замес 22 л, что составляет 7 л на 1 м³. Смесь перемешаем и опять проверим жесткость.

Допустим, она составила 25 с, т. е. заданная (табл. 5.24).

Таблица 5.24. Уточнение расчетного состава керамзитобетона по удобоукладываемости

Материал и характеристика бетона	Расход материалов для бетона ориентировочного состава	Добавлено	Расход материалов для бетона уточненного состава
Цемент, кг	9,856	—	9,856
Песок, кг	14,032	—	14,032
Гравий, кг	12,034	—	12,034
Вода, кг (л)	4,114	0,154	4,268
Жесткость, с	35		25

Проверяем прочность бетона. Для этого рассчитываем еще два состава с расходом цемента, отличным от исходного на ±10 %, затем проверяем и при необходимости корректируем количество воды для получения требуемой удобоукладываемости. Расчеты сводим в табл. 5.25.

Таблица 5.25. Составы керамзитобетона и результаты испытаний

Показатель	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Расчетные расходы материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг:	M ₁	M ₂	M ₃
цемент;	398,26	443,14	487,45
песок;	651,21	630,9	586,59
керамзитовый гравий;	541,07	541,07	541,07
вода (расч.);	192	192	196,67
вода (факт.)	195	195	198
Расход материалов на замес 22 л, кг:	M ₁	M ₂	M ₃
цемент;	8,774	9,749	10,724
песок;	14,85	13,88	12,905
керамзитовый гравий;	11,904	11,904	11,904
вода (расч.);	4,224	4,222	4,327
вода (факт.)	4,29	4,29	4,356
Сумма расхода материалов в замесе, кг	39,818	39,823	39,889
Плотность бетонной смеси, кг/м ³	1804	1807	1815
Жесткость бетонной смеси, с	25	25	25
Фактический расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг:			
цемент;	397,5	442,4	488
песок;	672,8	629,8	587,4
керамзитовый гравий;	539	540,2	541,6
вода	194,4	194,7	198,2
Прочность при сжатии, МПа:			
после тепловой обработки;	17,5	22,5	28,74
в 28-суточном возрасте	26,5	32,5	37,0
Средняя плотность бетона после тепловой обработки, кг/м ³	1772	1782	1792
Влажность бетона по массе, %	6	6	6
Средняя плотность высушенного бетона, кг/м ³	1672	1681	1691

Определим плотность бетонной смеси после ее уплотнения. Плотность определяется в мерном сосуде или в формах при жесткости менее 60 с. Для состава 2 плотность составляет 1807 кг/м³.

Затем определяем фактический расход материалов (кг/м³) по формулам:

$$\Pi = \frac{\rho_{\text{см}} \cdot \Pi_3}{\sum m} = \frac{1807 \cdot 9,856}{40,036} = 444,84;$$

$$\Pi = \frac{\rho_{\text{см}} \cdot \Pi_3}{\sum m} = \frac{1807 \cdot 14,032}{40,036} = 639,32;$$

$$K = \frac{\rho_{\text{см}} \cdot K_3}{m} = \frac{1807 \cdot 12,034}{40,036} = 543,15;$$

$$B = \frac{\rho_{\text{см}} \cdot B}{m} = \frac{1807 \cdot 4,268}{40,172} = 191,98.$$

Определяем также плотность бетонной смеси и фактический расход материалов на 1 м³ бетонной смеси для составов 1 и 3 и полученные данные заносим в табл. 5.25.

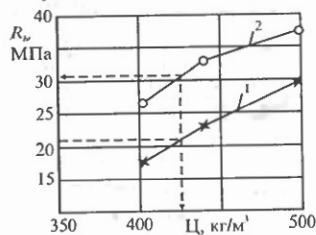


Рис. 5.2. Зависимость прочности бетона от расхода цемента: 1 — после тепловой обработки; 2 — в 28-суточном возрасте

Из трех составов бетона исходного и двух дополнительных изготавливаем по шесть образцов. Образцы пропариваем. Три образца испытываем через четыре часа после тепловой обработки, а три — после 28-суточного твердения в условиях нормальной влажности. По полученным данным строим графики зависимости прочности бетона от фактического расхода цемента (рис. 5.2).

Согласно условию отпускная прочность бетона должна быть

$$R_{\text{у.н}} = R_n \cdot \frac{70}{100} = 30 \cdot \frac{70}{100} = 21 \text{ МПа.}$$

По кривой $R_b^{\text{нр.о.н}} = f(\Pi)$ находим, что прочности 21 МПа соответствует расход цемента $\Pi_0 = 425 \text{ кг/м}^3$. По кривой $R_b^{28} = f(\Pi)$ убеждаемся, что прочность бетона в 28-суточном возрасте при этом расходе цемента отвечает проектной и равна 32,05 МПа. Она

находится между расходами цемента, соответствующими 1-му и 2-му замесу, т. е. между 398,26 и 443,14 кг/м³.

Находим расход материалов, соответствующий полученному расходу цемента для расчетной прочности бетона, по формуле

$$M = M_1 + \frac{(\Pi_0 - \Pi_1)(M_2 - M_1)}{\Pi_2 - \Pi_1} \text{ кг/м}^3 \text{ (л/м}^3\text{)},$$

где Π_0 — установленный расход цемента, кг; Π_1 и Π_2 — фактические расходы цемента в опытных замесах, кг; M_1 и M_2 — фактические расходы материалов (песка, гравия, воды) в опытных замесах, кг.

Тогда расходы песка, керамзитового гравия и воды будут равны:

$$\begin{aligned} \Pi &= 672,8 + \frac{(425 - 397,5)(629,8 - 672,8)}{442,4 - 397,5} = \\ &= 672,8 + \frac{27,5 \cdot (-43)}{44,9} = 646,46 \text{ кг;} \end{aligned}$$

$$K = 539 + \frac{(425 - 397,5)(540,2 - 539)}{442,4 - 397,5} = 539 + \frac{1,2}{44,9} = 539,73 \text{ кг;}$$

$$B = 194,4 + \frac{(425 - 397,5)(194,7 - 194,4)}{442,4 - 397,5} = 194,4 + \frac{8,25}{44,9} = 194,58 \text{ л.}$$

Окончательный состав керамзитобетона, кг/м³: цемент — 425, песок — 646,46, керамзитовый гравий — 539,73, вода — 194,58.

Определяем плотность и влажность бетона в сухом состоянии на пробах после испытания на сжатие.

3. Производственный состав бетона на влажных заполнителях. Примем условно, что гравий имеет влажность 2 %, а песок — 3 % по массе. Расход материалов Π' , Π' , K' , B' , Π' (кг/м³) определяем по формулам:

$$\Pi' = \Pi = 425; \Pi' = \Pi \left(1 + \frac{W_n}{100}\right) = 646,46 \cdot \left(1 + \frac{3}{100}\right) \approx 666;$$

$$K' = K \left(1 + \frac{W_k}{100}\right) = 539,73 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right) \approx 551;$$

$$B' = B - \left(\frac{П \cdot W_n}{100} + \frac{К \cdot W_k}{100} \right) =$$

$$= 194,58 - \left(646,46 \cdot \frac{3}{100} + 539,73 \cdot \frac{2}{100} \right) = 164.$$

Определяем расход материалов Ц, П, К, В в килограммах на замес бетономешалки.

Примем бетономешалку марки С-356 с объемом замеса 660 л. Расход материалов в килограммах на один замес составит:

Ц = $425 \cdot 0,66 \approx 281$, П = $666 \cdot 0,66 \approx 440$, К = $551 \cdot 0,66 \approx 364$, В = $164 \cdot 0,66 \approx 108$.

Задачи

5.69. Рассчитать состав керамзитобетона М 250 с отпускной прочностью 70 % проектной марки, плотность в сухом состоянии 1700 кг/м³ при осадке конуса бетонной смеси 3...7 см.

Характеристика материалов: цемент М 500; песок природный истинной плотностью 2,62 г/см³, водопотребностью 6,5 %; гравий керамзитовый М 700, фракции 5...10 и 10...20 мм. Насыпная плотность смеси фракции 680 кг/м³. Плотность в цементном тесте 1,22 кг/л, прочность при сжатии в цилиндре 5,5 МПа (по ГОСТ 9757-73 этой величине соответствует марка керамзита по прочности 250), межзерновая пустотность К = 0,41.

5.70. Рассчитать состав оглопоритобетона М 150 плотностью в сухом состоянии 1300 кг/м³ при подвижности бетонной смеси 3 см.

Характеристика материалов: цемент М 400 с истинной плотностью 3,1 кг/л; песок плотный с истинной плотностью 2,62 кг/л и водопотребностью 6 %, песок оглопоритовый с плотностью зерен в цементном тесте 1,3 кг/л и водопотребностью 14 %; щебень оглопоритовый фракции 5...10 мм, с насыпной плотностью 600 кг/м³, плотностью зерен в цементном тесте 1,4 кг/л, пустотностью 0,42, прочностью при сжатии в цилиндре 0,79 МПа (марка М 100).

5.71. Построить график зависимости между прочностью бетона и расходом цемента и определить расход цемента для получения керамзитобетона М 50, если при испытании контрольных образцов получены следующие результаты: при расходе цемента Ц₁ = 150 кг/м³, R_{1сж} = 3,5 МПа; Ц₂ = 200 кг/м³, R_{2сж} = 45 МПа; Ц₃ = 250 кг/м³, R_{3сж} = 6,0 МПа.

6. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Строительный раствор представляет собой искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания оптимально подобранной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя. До затвердевания смесь из вышеуказанных компонентов называют *растворной*. Для придания растворной смеси или затвердевшим растворам определенных свойств в них вводят различные добавки (минеральные, химические и др.).

При подборе состава строительного раствора важно знать и уметь определять качественные характеристики его отдельных составляющих, которые предопределяют физико-механические свойства, удобоукладываемость и вододерживающую способность.

Качество строительных растворов характеризуют следующие показатели: подвижность и средняя плотность — для свежеприготовленных растворов; предел прочности при сжатии, средняя плотность, влажность, водопоглощение и морозостойкость — для затвердевших растворов.

Необходимо также иметь практические навыки по определению марки растворов, знание способов приготовления и особенностей твердения строительных растворов в зимних условиях.

Предлагаемые примеры и задачи и их решения окажут помощь в овладении такими расчетами.

Примеры

Пример 6.1. Подсчитать расход материалов на 1 м³ известково-песчаного раствора состава 1 : 5 по объему при условии, что известковое тесто и готовый раствор пустот не имеют, песок имеет объем П_н = 38 %, а водоизвестковое отношение В/И = 0,9.

Решение: Абсолютный объем известково-песчаного раствора состава 1 : 5 будет равен:

$$V_{\text{н.р.}} = V_{\text{н}} + V_{\text{п}} (1 - \Pi_{\text{п}}) = 1 + 5 (1 - 0,38) = 4,1.$$

Коэффициент выхода раствора

$$\beta = \frac{V_{\text{н.р.}}}{V_{\text{н}} + V_{\text{г}}} = \frac{4,1}{1 + 5} = 0,68.$$

Расход известкового теста на 1 м³ раствора

$$\text{ИТ} = \frac{1}{\beta(V_{\text{н}} + V_{\text{п}})} = \frac{1}{0,68(1 + 5)} = 0,25 \text{ м}^3.$$

Расход песка

$$\Pi = V_{\text{п}} \cdot \text{ИТ} = 5 \cdot 0,25 = 1,25 \text{ м}^3 = 1,25 \text{ м}^3.$$

Тогда расход воды

$$B = \text{ИТ} \cdot \frac{B}{\text{И}} = 0,25 \cdot 0,9 = 0,225 \text{ м}^3 \text{ или } B = 225 \text{ л}.$$

Пример 6.2. Рассчитать расход материалов на 1 м³ цементно-песчаного раствора состава 1 : 4 по объему, если В/Ц = 0,5, песок имеет объем пустот $\Pi_{\text{п}} = 40\%$, средняя плотность цемента $\rho_{\text{с.ц.}} = 1300 \text{ кг/м}^3$, пустотность цемента $\Pi_{\text{ц}} = 50\%$.

Определить расход цемента по массе и объему, песка — по объему.

Решение: Абсолютный объем раствора равен

$$\begin{aligned} V_{\text{р.}} &= V_{\text{ц}} (1 - 0,5) + V_{\text{п}} (1 - 0,4) + B/\text{Ц} = \\ &= 1 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,6 + 0,5 = 3,4. \end{aligned}$$

Коэффициент раствора

$$\beta = \frac{V_{\text{р.}}}{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + \frac{B}{\text{Ц}}} = \frac{3,4}{1 + 4 + 0,5} = 0,62.$$

Расход цемента по объему на 1 м³ раствора

$$\text{Ц}_{\text{в}} = \frac{1}{\beta(V_{\text{ц}} + V_{\text{п}})} = \frac{1}{0,62(1 + 4)} = 0,32 \text{ м}^3$$

$$\text{или } \text{Ц} = \text{Ц}_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{с.ц.}} = 0,32 \cdot 1300 = 419 \text{ кг/м}^3.$$

Расход песка по объему

$$\Pi_{\text{в}} = V_{\text{п}} \cdot \text{Ц}_{\text{в}} = 4 \cdot 0,32 = 1,28 \text{ м}^3.$$

Расход воды $B = \text{Ц}_{\text{м}} \cdot B/\text{Ц} = 419 \cdot 0,5 = 209,5 \text{ л/м}^3.$

Пример 6.3. Рассчитать количество материалов для приготовления 1 м³ цветного цементно-песчаного раствора состава 1 : 2 по объему для отделки панелей, который укладывается на поверхность панели после пропаривания. В раствор вводят 3 % воздухововлекающей добавки ГК и 5 % железного сурика (добавки вводятся исходя из расчета массы цемента).

Кварцевый песок имеет пустотность 38 %, средняя плотность цемента $\rho_{\text{с.ц.}} = 1300 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Определяем абсолютный объем раствора

$$V_{\text{р.}} = V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} (1 - \Pi_{\text{п}}) = 1 + 2 (1 - 0,38) = 2,24.$$

Коэффициент выхода раствора

$$\beta = \frac{V_{\text{р.}}}{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}}} = \frac{2,24}{1 + 2} = 0,75.$$

Тогда расход цемента по объему

$$\text{Ц}_{\text{в}} = \frac{1}{\beta(V_{\text{ц}} + V_{\text{п}})} = \frac{1}{0,75(1 + 2)} = 0,44 \text{ м}^3$$

или по массе

$$\text{Ц}_{\text{м}} = \text{Ц}_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{с.ц.}} = 0,44 \cdot 1300 = 572 \text{ кг/м}^3.$$

Расход песка

$$\Pi_{\text{м}} = \text{Ц}_{\text{м}} \cdot 2 = 572 \cdot 2 = 1144 \text{ кг/м}^3.$$

Расход сурика на 1 м³ раствора

$$\text{С}_{\text{м}} = \text{Ц}_{\text{м}} \cdot \% \text{ с} = 572 \cdot 0,05 = 28,6 \text{ кг/м}^3.$$

Расход воздухововлекающей добавки

$$(\text{ГК})_{\text{м}} = \text{Ц}_{\text{м}} \cdot \% \text{ ГК} = 572 \cdot 0,03 = 17,16 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 6.4. Рассчитать количество материалов для приготовления 1 м³ раствора, который наносится в виде отделочного слоя

на плиты газосиликата. Рекомендуется применять цветной раствор состава 1 : 1 : 3 : 4 (цемент: известь: молотый песок: песок) по объему. Средняя плотность раствора $\rho_{с.р} = 1300 \text{ кг/м}^3$. Водопесчаное отношение В/П = 0,24. К раствору добавлено 3 % воздуховлекающей добавки (гидрофобизирующей). Для придания цвета раствору добавлено 10 % охры. Количество добавок вводится исходя из расчета массы цемента. При испытании материалов были определены пустотности соответственно: цемента — $\Pi_{ц} = 58 \%$, молотого песка — $\Pi_{п.м} = 45 \%$, песка — $\Pi_{п} = 40 \%$. Принято, что известковое тесто пористости не имеет.

Решение: Абсолютный объем раствора

$$V_p = V_{ц} (1 - 0,58) + V_{и.т} + V_{п.м} (1 - 0,45) + V_{п} (1 - 0,4) + (V_{п.м} + V_{п}) 0,24 = 1 \cdot 0,42 + 1 + 3 \cdot 0,55 + 4 \cdot 0,6 + 7 \cdot 0,24 = 7,15.$$

Коэффициент выхода раствора

$$\beta = \frac{V_p}{V_{ц} + V_{и} + V_{п.м} + V_{п}} = \frac{7,15}{1 + 1 + 3 + 4} = 0,8.$$

Расход цемента на 1 м³ раствора

$$\Pi_{в} = \frac{1}{\beta(V_{ц} + V_{и} + V_{п.м} + V_{п})} = \frac{1}{0,8(1 + 1 + 3 + 4)} = 0,14 \text{ м}^3$$

$$\text{или по массе } \Pi_{м} = 0,14 \cdot 1300 = 182 \text{ кг/м}^3.$$

Определяем количество материалов на 1 м³ раствора

Расход известкового теста

$$\text{ИТ}_{в} = \Pi_{в} \cdot 1 = 0,14 \cdot 1 = 0,14 \text{ м}^3.$$

Расход молотого песка

$$\text{ПМ}_{в} = \Pi_{в} \cdot 3 = 0,14 \cdot 3 = 0,42 \text{ м}^3.$$

Расход песка

$$\Pi_{в} = \Pi_{в} \cdot 4 = 0,14 \cdot 4 = 0,56 \text{ м}^3.$$

Расход гидрофобизирующей добавки

$$\text{ГД}_{м} = \Pi_{м} \cdot \% \text{ ГД} = 182 \cdot 0,03 = 5,46 \text{ кг/м}^3.$$

Охры было добавлено в раствор

$$O_{м} = \Pi_{м} \cdot \%_o = 182 \cdot 0,10 = 18,2 \text{ кг}.$$

Расход воды

$$B = (\Pi_{м} + \Pi_{в}) 0,24 = (0,42 + 0,56) \cdot 0,24 = 0,235 \text{ м}^3 \text{ или } 235 \text{ л/м}^3.$$

Пример 6.5. Определить расход материала на один замес в растворомешалке емкостью $Q_p = 100 \text{ л}$. Состав раствора 1 : 0,31 : 4,3 (цемент: глиняное тесто: песок). Средняя плотность материалов: цемента — $\rho_{с.ц} = 1200$; глиняного теста — $\rho_{с.г.т} = 1500$; песка (сухого) — $\rho_{с.п} = 1300 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Сумма составных частей раствора составляет

$$\Sigma \text{Ч}_p = \text{Ц} + \text{ГТ} + \text{П} = 1 + 0,31 + 4,3 = 5,61.$$

Расход цемента

$$\Pi_{ц} = \frac{Q_p}{\Sigma \text{Ч}_p} \cdot \text{Ц} = \frac{100}{5,61} \cdot 1 = 17,83 \text{ л}$$

$$\text{или } 17,83 \cdot 1,2 = 21,39 \text{ кг на замес}.$$

Расход глиняного теста

$$\text{ГТ}_{в} = \frac{Q_p}{\Sigma \text{Ч}_p} \cdot \text{ГТ} = \frac{100}{5,61} \cdot 0,31 = 5,53 \text{ л}$$

$$\text{или } 5,53 \cdot 1,5 = 8,29 \text{ кг}.$$

Расход песка

$$\Pi_{п} = \frac{Q_p}{\Sigma \text{Ч}_p} \cdot \text{П} = \frac{100}{5,61} \cdot 4,3 = 76,65 \text{ л}$$

$$\text{или } 76,65 \cdot 1,3 = 99,65 \text{ кг}.$$

Расход воды определяется приблизительно по эмпирической формуле, а затем проверяется в лаборатории на пробном замесе:

$$B = 0,65 \cdot (Q_{ц} + Q_{г.т}) = 0,65(21,39 + 8,29) = 19,29 \text{ кг (л)}.$$

где $Q_{ц}$ и $Q_{г.т}$ — соответственно количество цемента и глиняного теста.

Пример 6.6. Определить марку цементно-известкового раствора состава 1 : 0,5 : 5 по объему и марку цементно-глиняного раствора состава 1 : 1 : 5. Водоцементное отношение для обоих видов раствора равно $B/C = 1,3$.

Для обоих видов раствора применен цемент М500.

Марку сложного раствора можно подсчитать по формуле

$$R_{см} = 0,25 R_{см} \left(\frac{C + D}{B} - 0,40 \right),$$

где $R_{см}$ — прочность смешанного вяжущего вещества, C и D — массы цемента, добавки и воды.

Решение: Определяем прочность смешанного вяжущего вещества (цементно-известкового):

$$R_{см} = \frac{M_u}{C + 1,5H} = \frac{500}{1 + 1,5 \cdot 0,5} = 285 \text{ кг/см}^2.$$

При $B/C = 1,3$, т. е. $C/B = 0,77$, $\frac{C + D}{B} = 1,15$. Прочность же цементно-известкового раствора составит

$$R_{изп} = 0,25 \cdot 285 (1,15 - 0,4) = 53,4 \text{ кг/см}^2.$$

Тогда марка раствора М 50.

Определяем прочность цементно-глиняного вяжущего вещества:

$$R_{см} = \frac{M_u}{C + 1,5H} = \frac{500}{1 + 1,5 \cdot 1} = 200 \text{ кг/см}^2.$$

При $B/C = 1,3$, т. е. $C/B = 0,77$, $\frac{C + D}{B} = 1,54$. Прочность же цементно-глиняного раствора составит

$$R_{гп} = 0,25 \cdot 200 (1,54 - 0,4) = 57 \text{ кг/см}^2.$$

Следовательно, марка раствора М 50.

Пример 6.7. Рассчитать количество материалов для приготовления 1 м³ раствора М 50 со средней плотностью $\rho_{ср} = 1480 \text{ кг/м}^3$. Раствор готовится на портландцементе М 300 (марка определена в растворе жесткой консистенции), пластифицирующая до-

бавка применяется в виде глиняного теста со средней плотностью $\rho_{ггт} = 1400 \text{ кг/м}^3$, подвижность раствора должна быть 6–8 см при погружении конуса «СтройЦНИЛа».

Решение: Определяем расход цемента на 1 м³ песка по формуле

$$C_m = \frac{R_p \cdot 1000}{K R_u} \text{ кг},$$

где R_u , R_p — соответственно марка цемента и раствора; K — коэффициент, учитывающий подвижность растворной смеси в растворе жесткой консистенции $K = 0,7$.

$$C_m = \frac{50 \cdot 1000}{0,7 \cdot 300} = 238 \text{ кг/м}^3.$$

Объем пластификатора на 1 м³ песка

$$V_d = 0,17 (1 - 0,002 C_m) \text{ м}^3,$$

где C_m — расход вяжущего вещества на 1 м³, кг;

$$V_d = 0,17 (1 - 0,002 \cdot 238) = 0,089 \text{ м}^3$$

$$\text{или } D_m = 0,089 \cdot 1400 = 125 \text{ кг/м}^3.$$

Расход воды на 1 м³ песка

$$B = 0,65 (C_m + V_d) = 0,65 (238 + 125) = 236 \text{ л/м}^3.$$

С помощью расчета получен расход материалов на 1 м³ песка: цемента — 238 кг/м³; глиняного теста — 125 кг/м³, т. е. всего вяжущего вещества — 363 кг/м³, воды — 236 л/м³ или $B/B_{см} = 236/363 = 0,65$.

Количество песка на 1 м³ определяется по зависимости

$$П_m = \rho_{ср} - (B_{см} + B) = 1480 - (363 + 236) = 881 \text{ кг}.$$

Тогда соотношение материалов по массе в растворе будет выражено следующим образом:

$$\frac{C_m}{C_m} : \frac{D_m}{C_m} : \frac{П_m}{C_m} = \frac{238}{238} : \frac{125}{238} : \frac{881}{238} = 1 : 0,53 : 3,7 \text{ при } \frac{B}{B_{см}} = 0,65.$$

Расход воды окончательно уточняется с помощью пробного замеса.

Пример 6.8. Рассчитать количество материалов на 1 м³ кислотоупорного кладочного раствора, который будет применен для футеровки емкостей под агрессивные растворы. Средняя плотность свежееуложенного раствора — фаизола должна быть $\rho_{с.ф.} = 2200 \text{ кг/м}^3$. Предел прочности при сжатии кубиков размерами $20 \times 20 \times 20 \text{ мм}$ через 7 суток — 15,0 МПа, а подвижность смеси — 5–6 см (погружение конуса «СтройЦНИЛа» в раствор).

В состав раствора входят следующие материалы — наполнитель: андезит крупной фракции (размер зерен меньше 0,15–5 мм) — 70 %; андезит молотый (размер зерен меньше 0,15 мм) — 30 %; мономер ФА (фурфуролацетоновая смола) — 25 % от массы наполнителей; БСК (бензосульфокислота) — отвердитель — 20 % от массы мономера и ацетон — 15 % от веса БСК.

В лаборатории были сделаны пробные замесы. Один замес, который удовлетворял поставленным требованиям по прочности, средней плотности и пластичности, имел следующий расход материалов на 10 кг наполнителя: крупного андезита — 7 кг, молотого андезита — 3 кг, мономера ФА — 2 кг, отвердителя БСК — 0,4 кг, ацетона — 0,06 кг, т. е. всего — 12,46 кг.

Решение: Расход материалов на 1 м³ раствора — фаизола подсчитывается следующим образом.

Количество крупной фракции наполнителя:

$$A_{кр} = \frac{m_{кр} \cdot \rho_{ср}}{m_n} = \frac{7 \cdot 2200}{12,46} = 1235,96 \text{ кг};$$

мелкой фракции наполнителя

$$A_{м} = \frac{m_{м} \cdot \rho_{ср}}{m_n} = \frac{3 \cdot 2200}{12,46} = 529,7 \text{ кг};$$

мономера ФА

$$M = \frac{m_{м} \cdot \rho_{ср}}{m_n} = \frac{2 \cdot 2200}{12,46} = 353,13 \text{ кг};$$

отвердителя БСК

$$O = \frac{m_o \cdot \rho_{ср}}{m_n} = \frac{0,4 \cdot 2200}{12,46} = 70,63 \text{ кг};$$

ацетона

$$A = \frac{m_a \cdot \rho_{ср}}{m_n} = \frac{0,06 \cdot 2200}{12,46} = 10,59 \text{ кг}.$$

Итого — 2200,01 кг/м³.

Пример 6.9. Состав раствора 1 : 0,6 : 5 (цемент: известковое тесто: песок). Насыпная плотность этих материалов ρ_c — 1300, 1400, 1450 кг/м³. Найти расход материалов на один замес растворосмесителя вместимостью $Q_p = 250 \text{ л}$.

Решение: Сумма составных частей раствора

$$\Sigma C_p = Ц + ИТ + П = 1 + 0,6 + 5 = 6,6.$$

Тогда объем цемента

$$V_u = \frac{Q_p \cdot Ц}{\Sigma C_p} = \frac{250 \cdot 1}{6,6} = 37,9 \text{ л}.$$

Аналогичный расход цемента $C_u = V_u \cdot \rho_{с.ц.} = 37,9 \cdot 1,3 = 49,24 \text{ кг}$. Расход известкового теста

$$ИТ_x = \frac{Q_p \cdot ИТ}{\Sigma C_p} \cdot \rho_{с.и.т.} = \frac{250 \cdot 0,6}{6,6} \cdot 1,4 = 31,8 \text{ кг}.$$

Расход песка

$$П_3 = \frac{Q_p \cdot П}{\Sigma C_p} \cdot \rho_{с.п.} = \frac{250 \cdot 5}{6,6} \cdot 1,45 = 274,6 \text{ кг}.$$

Расход воды устанавливают ориентировочно (проверяя затем на пробном замесе):

$$B_3 = 0,65 (Ц_3 + ИТ_3) = 0,65 (49,24 + 31,8) = 52,68 \text{ кг (л)}.$$

Задачи

6.1. Рассчитать расход материалов на 1 м³ цементного раствора состава 1 : 5 по объему при условии, что в готовом растворе нет пустот, пустотность песка 40 %, цемента — 52 %, $B/C_1 = 0,65$.

6.2. Имеется цементно-глиняный раствор состава 1 : 0,5 : 5. Пустотность цемента 52 %, глиняное тесто не содержит пустот, пустотность пес-

ка 40 %, истинная плотность цемента 3100 кг/м^3 , насыпная плотность цемента 1300 кг/м^3 . Расход воды — один объем по отношению к вяжущему веществу (цемент + глиняное тесто). Установить расход материалов на 1 м^3 раствора.

6.3. Раствор марки 200 применен для надземной кладки стен зданий. Вяжущее вещество — портландцемент М400 с насыпной плотностью 1300 кг/м^3 , пластифицирующая добавка — известковое тесто со средней плотностью 1400 кг/м^3 . Взят песок с насыпной плотностью 1450 кг/м^3 при влажности 5 %. Найти состав раствора.

6.4. В растворе используется пуццолановый портландцемент М 300, пластифицирующая добавка — глиняное тесто со средней плотностью 1350 кг/м^3 , подвижность раствора 4...6 см. Рассчитать количество материалов для приготовления 1 м^3 раствора марки 75 со средней плотностью 1450 кг/м^3 .

6.5. Установить количество материалов для приготовления 1 м^3 цветного раствора состава 1 : 3 по объему для отделки панелей. В раствор вводят 2 % воздухововлекающей добавки ГК и 4 % железного сурика (дозировка добавок дана исходя из массы цемента). Пустотность кварцевого песка 36 %, насыпная плотность цемента 1300 кг/м^3 .

6.6. Определить коэффициент выхода и расход материалов для приготовления 20 м^3 абсолютно плотного известкового раствора состава 1 : 5 по объему. В песке объем пустот равен 45 %.

6.7. Рассчитать количества материалов для приготовления 1 м^3 цементно-известкового раствора состава 1 : 0,6 : 4 по объему. Пустотность цемента 48 %, известковое тесто без пустот, пустотность песка 36 %, истинная плотность цемента 3100 кг/м^3 , насыпная плотность цемента 1300 кг/м^3 , средняя плотность известкового теста 1400 кг/м^3 . Водовязущее отношение 0,6.

6.8. Рассчитать количество материалов для приготовления 1 м^3 цементно-песчаного раствора состава 1 : 1 : 5 по объему. Плотность цемента 0,42, известковое тесто без пустот, количество пустот в песке 0,40, истинная плотность цемента $3,1 \text{ г/см}^3$, а средняя плотность — 1300 кг/м^3 . Воды израсходовано — один объем по отношению к вяжущему веществу (цемент + известковое тесто).

6.9. Определить расход материалов на 1 м^3 инъекционного цементного раствора для заполнения конолов предварительно-напряженных железобетонных конструкций. Марка раствора 300. Состав раствора 1 : 0,35 (цемент: молотый песок), В/Ц = 0,48. Для приготовления раствора применяется портландцемент М 500, расход которого составляет 120 кг на 100 л раствора.

6.10. Определить состав раствора М 100 для надземной кладки стен зданий с нормальной влажностью воздуха помещений.

Вяжущее вещество для раствора — портландцемент М 500; средняя плотность цемента 1200 кг/м^3 , пластифицирующая добавка — глиняное тесто со средней плотностью 1500 кг/м^3 . Песок природный удовлетворяет требованиям ГОСТов. Средняя плотность песка 1300 кг/м^3 при влажности 3 %.

6.11. Запроектировать состав строительного раствора для кладочных работ, если марка раствора 200, марка цемента 500, средняя плотность песка 1600 кг/м^3 , средняя плотность добавки (глины) 2000 кг/м^3 . Вид цемента пуццолановый ($k = 1$). Подвижность растворной смеси при ее каретировке была равна задонной.

6.12. Производится надземная кладка стен зданий при нормальной влажности воздуха. Для приготовления раствора М150 использован шлакопортландцемент М 400. Насыпная плотность цемента 1200 кг/м^3 . Пластифицирующая добавка — известковое тесто со средней плотностью 1400 кг/м^3 . Песок природный с насыпной плотностью 1400 кг/м^3 при влажности 2 %. Определить состав раствора.

6.13. Состав раствора 1 : 0,6 : 5 (цемент: известковое тесто: песок). Насыпная плотность этих материалов — 1300, 1400, 1450 кг/м^3 . Найти расход материалов на один замес растворовсмесителя вместимостью 250 л.

7. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ НЕОБЖИГОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Искусственные каменные необжиговые изделия получают из растворных или бетонных смесей на основе различных видов вяжущих веществ. В качестве заполнителей применяют кварцевый песок, пемзу, шлак, золу, древесные опилки. Для повышения прочности изделий на изгиб их армируют, используя для этих целей волокнистые материалы — асбест, древесину, бумажную макулатуру, листовую бумагу и др.

Искусственные каменные материалы по виду минерального вяжущего вещества делятся на три группы: силикатные, гипсовые, гипсобетонные и асбестоцементные.

Силикатные, гипсовые и асбестоцементные материалы обладают рядом специфических свойств, которые необходимо учитывать при их применении в строительстве.

Силикатный кирпич, например, более теплопроводен, чем керамический, не стоек в кислых средах и при высоких температурах и т. д. Так как силикатный кирпич выпускается в массовом количестве и широко используется как стеновой материал (наряду с керамическим, необходимо уметь определять (методом расчета) различия в их свойствах, назначать соответствующую их свойствам область применения. Кроме того, следует отчетливо представлять различие методов стандартного испытания известково-песчаного (силикатного) и обыкновенного керамического кирпича.

Эти вопросы, а также некоторые технологические расчеты по производству и испытанию гипсовых, гипсобетонных и асбестоцементных изделий рассматриваются в примерах и задачах, приведенных в данном разделе.

Примеры

Пример 7.1. Обычный известковый строительный раствор из воздушной извести и кварцевого песка при твердении на воздухе через один месяц T приобрел прочность на сжатие $R_{p30} = 0,6$ МПа. Смесь из тех же материалов, содержащая всего 8 % извести (по массе), после запаривания в автоклаве в течение 8 ч при давлении пара 0,8 МПа и температуре +175 °С приобрела прочность $R_{p8} = 12,0$ МПа.

Рассчитать, во сколько раз скорость твердения известково-песчаной смеси в автоклаве выше, чем в обычных условиях, и объяснить, почему.

Решение: Если принять, что прочность известкового строительного раствора возрастает со временем равномерно, то за 8 ч (0,33 суток) твердения его прочность составит:

$$R_p = \frac{R_{p30}}{T} \cdot 0,33 = \frac{0,6}{30} \cdot 0,33 = 0,0066 \text{ МПа.}$$

За это время (8 ч) известково-песчаная смесь при запаривании в автоклаве приобретает прочность 12,0 МПа, т. е. скорость твердения в данном случае выше в 1820 раз.

Это объясняется тем, что при автоклавной обработке известь Ca(OH)_2 реагирует с кремнеземом песка SiO_2 и образуется новое вещество — гидросиликат кальция $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, прочно цементирующее всю массу.

В строительных известковых растворах при обычных условиях такая реакция практически не имеет места, и эти растворы твердеют за счет кристаллизации и карбонизации извести, т. е. процессов, протекающих крайне медленно.

Пример 7.2. Автоклав имеет длину $L = 20$ м и внутренний диаметр $d = 3,5$ м. Определить коэффициент полезного использования объема автоклава, если за один цикл в нем запаривается $Q_3 = 16,5 \text{ м}^3$ силикатных изделий.

Решение: Объем автоклава

$$Q_{\text{звт}} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot L = \frac{3,14 \cdot 3,5^2}{4} \cdot 20 = 192,3 \text{ м}^3.$$

Коэффициент полезного использования объема автоклава равен отношению объема загруженного материала ко всему объему автоклава, т.е.

$$K_{\text{п.и}} = \frac{Q_3}{Q_{\text{звт}}} \cdot 100 \% = \frac{16,5}{192,3} \cdot 100 = 8,58 \%.$$

Пример 7.3. Одинарный силикатный кирпич размерами $250 \times 120 \times 65$ мм имеет массу $m_{\text{с.к}} = 3500$ г, а обыкновенный керамический кирпич размерами $253 \times 122 \times 65$ — $m_{\text{к.к}} = 3410$ г.

Определить среднюю плотность и сравнить теплотехнические свойства обоих видов кирпича.

Решение: Средняя плотность силикатного кирпича

$$\rho_{\text{с.к.к}} = \frac{m_{\text{с.к.к}}}{V_{\text{с.к.к}}} = \frac{3500}{25 \times 12 \times 6,5} = 1,79 \text{ г/см}^3,$$

а обыкновенного керамического кирпича

$$\rho_{\text{к.к.к}} = \frac{m_{\text{к.к.к}}}{V_{\text{к.к.к}}} = \frac{3410}{25,3 \times 12,2 \times 6,5} = 1,70 \text{ г/см}^3.$$

Таким образом, средняя плотность силикатного кирпича выше, чем у керамического, в $1,79 : 1,70 = 1,1$ раза.

В таком же приблизительно соотношении будут и коэффициенты теплопроводности этих стеновых материалов.

Пример 7.4. Силикатный модульный кирпич с точно стандартными размерами перпендикулярно к постели имеет три технологические несквозные пустоты диаметром $d = 40$ мм (с глубиной $l = 60$ мм) и массу $m_{\text{п.к}} = 4,3$ кг.

Рассчитать среднюю плотность монолитного (без пустот) и пустотелого кирпича и сравнить их теплотехнические свойства.

Решение: Объем кирпича без пустот будет определен как

$$V'_k = V_{\text{п.к}} - 3 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = 25 \cdot 12 \cdot 8,8 - 3 \cdot \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} \cdot 6 = 2414 \text{ см}^3.$$

Средняя плотность плотного (без пустот) кирпича

$$\rho_{\text{с.п.к}} = \frac{m_{\text{п.к}}}{V_{\text{п.к}}} = \frac{4300}{2414} = 1,78 \text{ г/см}^3 \text{ или } 1780 \text{ кг/м}^3.$$

Средняя плотность кирпича брутто (без вычета пустот):

$$\rho_{\text{с.к.б}} = \frac{m_{\text{п.к}}}{V_{\text{б.к}}} = \frac{4300}{2640} = 1,63 \text{ г/см}^3 \text{ или } 1630 \text{ кг/м}^3.$$

Если принять, что коэффициенты теплопроводности этих изделий пропорциональны их средним плотностям, то теплопроводность пустотного кирпича будет ниже, чем у плотного, в 1,1 раза, т.е.

$$\frac{\rho_{\text{с.п.к}}}{\rho_{\text{с.к.б}}} = \frac{1780}{1630} = 1,1.$$

Пример 7.5. В канализационный коллектор, ошибочно построенный из силикатного кирпича, попадают промышленные сточные воды, содержащие соляную кислоту в количестве $m' = 13$ г на 1 м^3 воды.

Рассчитать, какое количество извести растворится из кирпичных стен коллектора за месяц его эксплуатации, если за сутки через него проходит $Q_{\text{с.сут}} = 100 \text{ м}^3$ сточных кислых вод, а в реакцию вступает 40 % содержащейся в них кислоты.

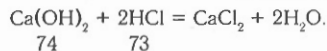
Решение: Проходит в месяц сточных кислых вод

$$Q_c = Q_{\text{с.сут}} \cdot t_{\text{сут}} = 100 \cdot 30 = 3000 \text{ м}^3.$$

Вступает в реакцию соляной кислоты за месяц

$$m_{\text{HCl}} = \frac{Q_c \cdot m' \cdot 0,4}{1000} = \frac{3000 \cdot 13 \cdot 0,4}{1000} = 15,6 \text{ кг}.$$

Реакция извести с соляной кислотой происходит по уравнению



Составив пропорцию

$$\begin{array}{r} 74 — 73 \\ x \text{ кг} — 15,6 \text{ кг}, \end{array}$$

определяем

$$x = \frac{15,6 \cdot 74}{73} = 15,8 \text{ кг Ca(OH)}_2$$

Пример 7.6. Сколько требуется песка и извести по массе для изготовления 1000 штук силикатных кирпичей? Средняя плотность силикатного кирпича $\rho_{ск} = 1750 \text{ кг/м}^3$ при его влажности 6 % (по массе). Содержание CaO в сухой смеси составляет 8,5 % по массе. Активность извести, применяемой для изготовления силикатного кирпича, — 80 %.

Решение: Масса 1000 штук силикатных кирпичей составляет

$$m_k = (1000 \cdot a \cdot b \cdot h) \rho_{ск} = \\ = (1000 \cdot 0,25 \cdot 0,12 \cdot 0,065) \cdot 1750 = 3412,5 \text{ кг},$$

где a, b, h — размеры кирпича, м; $\rho_{ск}$ — средняя плотность силикатного кирпича, кг/м^3 .

При влажности кирпича 6 % массу сухого кирпича можно определить из уравнения

$$m_c + 0,06 m_c = m_k.$$

Тогда

$$m_c = \frac{m_k}{1,06} = \frac{3412,5}{1,06} = 3219 \text{ кг}.$$

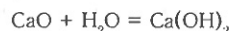
Содержание CaO в сухой смеси

$$m_{CaO} = m_c \cdot \%_{CaO} = 3219 \cdot 0,085 = 273,6 \text{ кг}.$$

Расход негашеной извести, содержащей 80 % CaO:

$$m_{и.и} = \frac{m_{CaO}}{0,8} = \frac{273,6}{0,80} = 342 \text{ кг}.$$

Расход воды на гашение извести определяют исходя из молекулярных масс уравнения



$$56 + 18 = 74$$

$$B = m_{CaO} \cdot \frac{18}{56} = 273,6 \cdot \frac{18}{50} = 87,9 \text{ л}.$$

Расход сухого песка

$$m_{с.п} = m_c - m_{и.и} - B = 3219 - 342 - 87,9 = 2789,1 \text{ кг}.$$

Расход влажного песка

$$m_{в.п} = m_{с.п} \cdot 1,04 = 2789,1 \cdot 1,04 = 2900,7 \text{ кг}.$$

Пример 7.7. Определить расход цемента и молотого песка для изготовления 1 м^3 пропариваемого пенобетона, если средняя плотность (в сухом состоянии) пенобетона $\rho_{спб} = 600 \text{ кг/м}^3$. Химически связанной воды в пенобетоне — 18 % от массы цемента и молотого песка. Отношение массы цемента к массе песка 1:1. Определить плотность и пористость пенобетона. Истинная плотность цемента $\rho_{и.ц} = 3,1$, молотого песка — $\rho_{и.п} = 2,60 \text{ г/см}^3$.

Решение: Принимаем сумму масс цемента и молотого песка за X . Тогда, исходя из условия задачи, масса воды будет равна $\frac{18X}{100}$, а сумма масс цемента, молотого песка и воды $X + \frac{18X}{100} = 600$.

Решая уравнение относительно X , находим сумму масс цемента и молотого песка $X = 508,5 \text{ кг}$, масса воды $B = 600 - 508,5 = 91,5 \text{ л}$.

Определяем содержание цемента и молотого песка по массе исходя из истинной плотности составляющих и их масс. По условию задачи количество цемента и количество молотого песка относятся как 1:1, тогда

$$\frac{m_{и.ц}}{3,10} = \frac{m_{и.п}}{2,60}.$$

Массу цемента принимаем равной Y , тогда

$$\frac{Y}{3,10} = \frac{508,5 - Y}{2,60}; \quad Y = m_{и.ц} = \frac{1576,4}{5,7} = 276,6 \text{ кг}.$$

Масса молотого песка

$$m_{и.п} = m_{и.ц} - m_{и.и} = 508,5 - 276,6 = 232 \text{ кг}.$$

Истинная плотность пенобетона

$$\rho_{и.пб} = \frac{\rho_{и.ц} + \rho_{и.п}}{2} = \frac{3,1 + 2,6}{2} = 2,85 \text{ г/см}^3 = 2850 \text{ кг/м}^3.$$

Относительная плотность

$$d = \frac{\rho_{спб}}{\rho_{и.пб}} = \frac{0,60}{2,85} \cdot 100 = 21,0 \text{ \%}.$$

Пористость пенобетона

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_{с.нб}}{\rho_{н.нб}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0,60}{2,85}\right) \cdot 100 = 79 \, \%.$$

Пример 7.8. Рассчитать количество материалов на 1 м³ гипсобетона, идущего на изготовление внутренних перегородочных плит, и определить среднюю плотность гипсобетона в плите с влажностью 10 % и его прочность. Гипс применяется высокопрочный с истинной плотностью $\rho_{н.г} = 2,7 \text{ г/см}^3$ и прочностью при сжатии $R_{сж} = 7,5 \text{ МПа}$. Заполнитель — древесные сосновые опилки. Средняя плотность опилок в сухом состоянии $\rho_{с.о} = 0,3 \text{ т/м}^3$; средняя плотность сухой древесины $\rho_{с.д} = 0,5 \text{ т/м}^3$. Водогипсовое отношение $B/\Gamma = 1$. Гипсоводное отношение для высокопрочного гипса $\Gamma/B_1 = 1,24$.

Решение: Определяем пустотность опилок в единице объема

$$\Pi = 1 - \frac{\rho_{с.о}}{\rho_{с.д}} = 1 - \frac{0,3}{0,5} = 0,60.$$

Определяем расход гипса на 1 м³ сухих опилок при коэффициенте заполнения гипсовым тестом пустот в опилках, равным 0,60:

$$\Gamma_o = \frac{0,60 \cdot 1000}{\frac{1}{2,7} + \frac{B}{\Gamma}} = \frac{0,60 \cdot 1000}{1,37} = 438 \text{ кг опилок}.$$

Расход гипса на 1 м³ гипсобетона

$$\Gamma = \frac{1000}{1/\rho_{н.г} + \Pi/\rho_{с.д} + B/\Gamma}.$$

Коэффициент Π определяется по формуле

$$\Pi = \frac{\rho_{с.о}}{\Gamma_o} = \frac{300}{438} = 0,67.$$

Тогда расход гипса

$$\Gamma = \frac{1000}{\frac{1}{2,7} + \frac{0,67}{0,5} + 1} = 369 \text{ кг/м}^3.$$

Расход сухих опилок на 1 м³ гипсобетона

$$O = \Gamma \cdot \Pi = 369 \cdot 0,67 = 247 \text{ кг/м}^3.$$

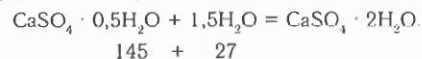
Расход воды

$$B = \Gamma \cdot B/\Gamma = 369 \cdot 1 = 369 \text{ л/м}^3.$$

Средняя плотность гипсобетона после затворения

$$\rho_{с.нб} = \Gamma + O + B = 369 + 247 + 369 = 985 \text{ кг/м}^3.$$

При твердении гипс присоединяет воды по химической реакции



Исходя из молекулярных масс количество воды определится

$$\frac{27}{145} \cdot 100 = 18,6 \, \% \text{ от массы гипса}.$$

Таким образом, для химической реакции требуется воды

$$B = \frac{\Gamma \cdot B(\%)}{100} = \frac{369 \cdot 18,6}{100} = 68,6 \text{ л}.$$

Тогда средняя плотность гипсобетона в абсолютно сухом состоянии будет равна

$$\rho_{с.с.нб} = \Gamma + O + B = 369 + 247 + 68,6 = 684,6 \text{ кг/м}^3,$$

а с 10 %-й влажностью

$$\rho_{н.с.нб} = \Gamma + O + 1,1 \cdot B = 369 + 247 + 75,5 = 691,5 \text{ кг/м}^3.$$

Прочность гипсобетона определяем по формуле

$$R_{нб} = k \cdot A \left(\frac{\Gamma/B - 0,5}{\Gamma_1/B_1 - 0,5} \right) = 0,7 \cdot 75 \cdot \left(\frac{1 - 0,5}{1,24 - 0,5} \right) \approx 35,5 \text{ кгс/см}^2,$$

где k — коэффициент, зависящий от размера форм, в которых готовятся образцы для испытания, и от вида заполнителей; $k = 0,7$ (легкий заполнитель и формы размерами $7 \times 7 \times 7 \text{ см}$); A — активность гипса; Γ/B — гипсоводное отношение по весу; Γ_1/B_1 — гипсоводное отношение по весу для теста нормальной густоты высокопрочного гипса.

Пример 7.9. Рассчитать расход материалов для изготовления $F_{гш} = 150 \text{ м}^2$ гипсошлаковых плит для перегородок толщиной $b_{гш} = 10 \text{ см}$. Состав гипсошлака 1 : 2 по объему. Объем пустот в шлаке $V_n = 60 \%$. Водогипсовое отношение $B/\Gamma = 0,5$. Средняя плотность полуводного гипса $\rho_{с.л.г} = 700 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Объем 150 м^2 гипсошлаковых плит составляет

$$V_{гш} = F_{гш} \cdot b_{гш} = 150 \cdot 0,1 = 15 \text{ м}^3.$$

На 1 м^3 гипса требуется шлака

$$V_{ш} = 2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ м}^3.$$

Тогда на 1 м^3 гипсошлаковых плит потребуется

$$V'_{гш} = 1 + 1,2 = 2,2 \text{ м}^3.$$

Следовательно, коэффициент выхода материала

$$\beta = \frac{V'_{гш}}{V_{гш} + V_{ш}} = \frac{2,2}{1 + 2} = 0,73.$$

Расход материалов на 15 м^3 гипсошлака: гипса

$$\Gamma = \frac{V_{гш}}{B(\Gamma + \text{Ш})} = \frac{15}{0,73(1 + 2)} = 6,85 \text{ м}^3$$

$$\text{или } 6,85 \cdot \rho_{г} = 6,85 \cdot 700 = 4795 \text{ кг;}$$

шлака

$$\text{Ш} = 2 \cdot \Gamma = 2 \cdot 6,85 = 13,7 \text{ м}^3;$$

воды

$$B = 0,5 \cdot \Gamma = 0,5 \cdot 4795 = 2397,5 \text{ л.}$$

Пример 7.10. Вычислить расход гипса на 1 м^3 пеногипса, если средняя плотность его при влажности по массе $W_m = 8 \%$ составляет $\rho_{с.л.г}^8 = 600 \text{ кг/м}^3$.

Незначительное количество применяемой в технологии пеногипса пенообразующей эмульсии не принимается во внимание при расчете средней плотности.

Решение: При твердении гипса по реакции



$$145 - 27 = 172.$$

$$\text{Гипс химически присоединяет воды } \frac{27}{145} \cdot 100 = 18,62 \% \text{ от мас-}$$

сы гипса.

Если обозначить среднюю плотность пеногипса в сухом состоянии через $\rho_{с.л.г}$ и расход гипса на 1 м^3 пеногипса через Γ , то можно $\rho_{с.л.г}$ определить из формулы

$$\rho_{с.л.г} = \Gamma + \frac{18,62}{100} \cdot \Gamma,$$

откуда

$$\Gamma = \frac{\rho_{с.л.г}}{1,186} \text{ кг/м}^3.$$

Средняя плотность пеногипса при 8% влажности

$$\rho_{с.л.г}^8 = \rho_{с.л.г} + 0,08\rho_{с.л.г} = 600.$$

Тогда

$$\rho_{с.л.г} = \frac{600}{1,08} = 555,5 \text{ кг/м}^3.$$

Расход гипса

$$\Gamma = \frac{\rho_{с.л.г}}{1,186} = \frac{555,5}{1,186} = 467 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 7.11. Вычислить, насколько можно увеличить расстояние между брусками обрешетки на крыше здания, если уложить волнистые асбестоцементные листы вместо плоских. Толщина листов одинаковая и равна $0,55 \text{ см}$.

Длина асбестоцементных листов $l = 118 \text{ мм}$, их высота — $h = 28 \text{ мм}$.

Временное сопротивление изгибу обоих листов одинаковое. Масса волнистого листа больше массы плоского листа в $1,1$ раза.

Решение: Момент сопротивления плоского листа шириной $b = 1 \text{ м}$ и толщиной $h = 0,55 \text{ см}$

$$W_1 = \frac{bh^2}{6} = \frac{100 \cdot 0,55^2}{6} = 5,95 \text{ см}^3.$$

Временное сопротивление изгибу плоского листа

$$R_{изг1} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{g_1 L_1^2}{8W_1},$$

где g_1 — равномерно распределенная нагрузка на 1 м² кровли; L_1 — расстояние между брусками обрешетки.

Момент сопротивления поперечного сечения 1 м волнистого листа определяется по формуле

$$W_2 = 3,81 \frac{(l + 2,6b)(h + e)^3 - (l - 2,6b)(h - e)^3}{(h + e)l}, \text{ см}^3,$$

где l , b , h — соответственно длина волны, ширина и высота асбестоцементных листов, см.

$$W_2 = 3,81 \cdot \frac{(11,8 + 2,6 \cdot 0,55)(2,8 + 0,55)^3 - (11,8 - 2,6 \cdot 0,55)(2,8 - 0,55)^3}{(2,8 + 0,55)11,8} = 36,5 \text{ см}^3.$$

Временное сопротивление изгибу волнистого листа

$$R_{изг2} = \frac{M_2}{W_2} = \frac{g_2 L_2^2}{8W_2}.$$

При одинаковой прочности материала листов должно существовать равенство

$$\frac{g_1 L_1^2}{8W_1} = \frac{g_2 L_2^2}{8W_2}.$$

Тогда

$$L_2 = L_1 \sqrt{\frac{W_2}{W_1} \cdot \frac{q_1}{q_2}} = L_1 \sqrt{\frac{36,5}{5,95} \cdot \frac{1}{1,1}} = 2,15 L_1.$$

Расстояние между обрешетками может быть увеличено приблизительно в 2,15 раза, учитывая, что $q_2 = 1,1 q_1$.

Пример 7.12. Определить временное сопротивление разрыву стенок асбестоцементной трубы диаметром $d = 300$ мм, имеющей стенки толщиной $a = 40$ мм, если труба при испытании на внутреннее давление разорвалась при $P = 1,0$ МПа.

Решение: В трубе предел прочности при разрыве составляет

$$R_{раз} = \frac{Pd}{2a} = \frac{1,0 \cdot 30}{2 \cdot 4} = 3,75 \text{ МПа}.$$

Задачи

7.1. Модульный силикатный кирпич через сутки после изготовления имел массу 4,80 кг, а спустя год — 4,85 кг (при той же влажности по массе).

Объяснить сущность этого явления, как оно влияет на свойства кирпича и показать с помощью расчета, какое количество извести дополнительно связалось в кирпиче в течение года.

7.2. Предел прочности при сжатии силикатного кирпича в сухом состоянии — 132 кгс/см², а в насыщенном водой — 102 кгс/см².

Пригоден ли этот кирпич для кладки фундаментов и цоколей зданий?

7.3. Силикатный кирпич в сухом состоянии до нагревания имел массу 4810 г и прочность при сжатии 124 кгс/см². После длительного пребывания при температуре 650 °С масса кирпича стала 4590 г.

Расчитать, насколько снизилась прочность кирпича, если потеря каждого процента связанной воды приводит (условно) к снижению прочности кирпича на 16 % начальной прочности.

7.4. Наружная стена из силикатного кирпича при средней плотности 1870 кг/м³ имеет толщину 64 см.

Во сколько раз тоньше будет равноценная ей в теплотехническом отношении стена из газобетона со средней плотностью 650 кг/м³?

7.5. Комбинат силикатных строительных материалов выпускает в смену 180 м³ крупноразмерных изделий (колонны, балки, блоки и др.).

Масса 1 м³ изделий (без стальной арматуры) равна 1890 кг, влажность изделий 4 %. Смесь содержит 8,5 % извести активностью 88 % и 40 % тонкомолотого песка. При гашении извести добавка воды равна 120 % расчетной, влажность песка 3 %.

Расчитать суточную потребность комбината в тонкомолотом песке и извести при его работе в три смены.

7.6. Сколько квадратных метров сухой штукатурки толщиной 10,5 мм (без кортона) можно получить из 10 т строительного гипса при затворе-

нии его 60 % воды, если средняя плотность сырого затвердевшего гипса равна 2,1 г/см³?

7.7. Какое количество песка и извести необходимо по массе для изготовления 3000 штук силикатных кирпичей. Содержание СаО в сухой смеси составляет 9 % по массе. Активность извести, применяемой для изготовления силикатного кирпича, — 80 %. Средняя плотность силикатного кирпича 1800 кг/м³, при его влажности (по массе) 7 %.

7.8. Определить коэффициент вспучивания газобетонной массы и расход материалов на 5 м³ газобетона при средней плотности 800 кг/м³. Смешанное вяжущее вещество, которое состоит из цемента и извести в соотношении 1:1,2, взять в количестве 25 %, а молотого песка — в количестве 75 %. Активность извести 75 % (содержание СаО), коэффициент использования алюминиевой пудры 0,80, а истинные плотности цемента — 3,0 г/см³, извести — 3,2 г/см³, молотого песка — 2,35 г/см³.

7.9. Определить расход материалов на 1 м³ газобетона и коэффициент вспучивания газобетонной массы при его средней плотности 700 кг/м³.

Смешанное вяжущее вещество взято в количестве 28 %, а количество молотого песка — 72 %. Смешанное вяжущее вещество состоит из цемента и извести в соотношении 1:1,1. Активность извести 70 % (содержание СаО), коэффициент использования алюминиевой пудры 0,80, а истинные плотности: цемента — 3,1 г/см³; извести — 3,16 г/см³; молотого песка — 2,5 г/см³.

Расход алюминиевой пудры определяется по эмпирической формуле

$$P_a = \frac{1000 - V}{273 + t} \cdot 1254K,$$

где V — общий объем массы, л; t — температура смеси при замесе газобетона, °C; 1254 — количество газа, выделяемого в результате реакции извести с 1 г алюминиевой пудры при 0 °C; K — коэффициент использования алюминиевой пудры $K = 0,8$.

7.10. Определить расход материалов для изготовления 200 м² гипсошляковых плит для перегородок толщиной 12 см. Объем пустот в шлаке 65 %. Водогипсовое отношение 0,5. Состав гипсошлака 1 : 2 по объему. Средняя плотность полуводного гипса 780 кг/м³.

7.11. При испытании на внутреннее давление асбестоцементная труба диаметром 250 мм, имеющая стенки толщиной 35 мм, разорвалась при давлении 9,5 атм. Определить временное сопротивление разрыву стенок трубы.

7.12. Определить допустимую нагрузку на рядовую плоскую кровельную асбестоцементную плитку размером 400 × 400 мм, толщиной 3 мм, если предел прочности при изгибе должен быть не меньше 260 кг/см², пролет между опорами плиты — 30 см.

7.13. Волнистые асбестоцементные листы обыкновенного профиля «ВО» имеют размеры 1207 × 680 × 5,2 мм и предел прочности при изгибе в поперечном к гребням волн направлении 175 кгс/см². После испытания на морозостойкость предел прочности при изгибе в том же направлении составлял 134 кгс/см².

Удовлетворяют ли эти изделия требованиям ГОСТ 378-87 по размеру, прочности и морозостойкости?

7.14. Портландцемент содержит 48 % алита, 6 % алюмината, 23 % белита, 12 % алюмоферрита, 3 % гипса, 8 % тонкомолотой опоки и начинает схватываться через 55 мин после затворения водой.

Дать заключение о пригодности этого цемента для производства асбестоцементных изделий с их теплообработкой в пропарочных камерах и автоклавах.

7.15. При производстве листовых асбестоцементных материалов вместо портландцемента применен песчанистый цемент, содержащий 50 % тонкомолотого кварцевого песка.

Рассчитать, какая экономия портландцементного клинкера будет получена при автоклавной обработке на каждые 1000 м³ изделий, если на их изготовление расходуются 12 % (по массе) асбеста и 88 % цемента.

Средняя плотность изделий — 1930 кг/м³ при влажности 4 %.

8. КОАГУЛЯЦИОННЫЕ (ОРГАНИЧЕСКИЕ) ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ

К органическим вяжущим веществам относятся битумные и дегтевые материалы, которые обладают следующими ценными свойствами: водопроницаемостью, стойкостью против действия агрессивных жидкостей, щелочей и кислот, способностью понижать вязкость при нагреве и снова ее восстанавливать при последующем охлаждении, а также прочно сцепляться с разными материалами — деревом, бетоном, камнем и др.

При качественной оценке нефтяного битума определяют следующие его основные свойства: температуру размягчения, вязкость, растяжимость и температуру вспышки. При этом марка битума определяется на основании нескольких (чаще всего трех) различных испытаний, по данным которых необходимо уметь произвести расчеты и дать заключение о качестве битума.

Аналогичные расчеты необходимо проводить и по дегтевым вяжущим материалам, чтобы оценить по ним качественные показатели.

В связи с этим в данном разделе приводятся примеры и их решения, которые помогут развить практические навыки в определении физико-механических характеристик органических вяжущих веществ и расчетах необходимого количества исходных компонентов при изготовлении битумо-дегтедодержащих материалов.

Примеры

Пример 8.1. Под действием массы шарика первый образец нефтяного битума коснулся нижнего диска прибора «Кольцо и шар» при температуре $+92\text{ }^{\circ}\text{C}$, а второй — при $+96\text{ }^{\circ}\text{C}$.

К какой марке относится нефтебитум по температуре размягчения согласно ГОСТ 11506-73?

Решение: Средняя температура размягчения нефтебитума

$$T_{\text{ср.р}} = \frac{T_{\text{р1}} + T_{\text{р2}}}{2} = \frac{92 + 96}{2} = +94\text{ }^{\circ}\text{C},$$

что по ГОСТ 11506-73 соответствует марке нефтебитума БН — 90/10.

Пример 8.2. Какой вязкий нефтяной битум более пригоден для использования в асфальтобетоне в районах с континентальным климатом: а) с температурой размягчения $t_{\text{ар}} = +55\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температурой хрупкости — $t_{\text{арх}} = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) с температурой размягчения $t_{\text{ар}} = +48\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температурой хрупкости — $t_{\text{арх}} = +17\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Решение: Чтобы судить о степени пригодности битума к эксплуатации в условиях континентального климата, следует определить его интервал пластичности по формуле

$$T_{\text{пл}} = t_{\text{р}} - t_{\text{арх}}$$

где $t_{\text{р}}$ — температура размягчения, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{арх}}$ — температура хрупкости, $^{\circ}\text{C}$.
Тогда

$$T_{\text{а.пл}} = 55 - (-15) = 70\text{ }^{\circ}\text{C}; T_{\text{б.пл}} = 48 - (-17) = 65\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Как видно из полученных результатов, битум с индексом «а» имеет большой интервал пластичности. Такие виды битума более пригодны к эксплуатации в условиях континентального климата, характеризующихся высокими положительными температурами в летнее время и низкими отрицательными зимой.

Пример 8.3. Определить ориентировочную динамическую вязкость вязкого битума с пенетрацией 55 при $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение: Для ориентировочного расчета динамической вязкости битума $\eta_{\text{д}}$ можно применить формулу Заала, скорректированную с учетом требований СИ:

$$\eta_{и} = \frac{1,58 \cdot 10^9}{\Pi_{25}^{2,16}},$$

где Π_{25} – пенетрация битума при температуре 25 °С.

Тогда

$$\eta_{и} = \frac{1,58 \cdot 10^9}{55^{2,16}} = \frac{1,58 \cdot 10^9}{5750} = 2,75 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot \text{с} = 275 \text{ кПа} \cdot \text{с}.$$

Для вычисления знаменателя использовано соотношение

$$\lg 55^{2,16} = 2,16 \lg 55 = 2,16 \cdot 1,74 = 3,76$$

и по логарифму найдено число 5750.

Пример 8.4. Определить содержание в эмульсии битума с эмульгатором, если масса выпарительной чашки со стеклянной палочкой $m_1 = 162$ г, масса чашки с палочкой и эмульсией (до выпаривания) $m_2 = 189,7$ г, масса чашки с палочкой и остатком после выпаривания воды из эмульсии $m_3 = 176,2$ г.

Решение: Используем формулу, приведенную в СТБ 1245–2000:

$$M_6 = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} 100 = \frac{176,2 - 162}{189,7 - 162} \cdot 100 = 51,3 \, \%.$$

Таким образом, содержание битума с эмульгатором составляет 51,3 %.

Пример 8.5. Сколько требуется затратить теплоты (без учета потерь) для нагрева $B = 10$ т битума в битумоплавильном котле с $t_1 = +90$ °С до $t_2 = +150$ °С, если удельная теплоемкость битума $c_6 = 0,9$ кДж/(кг·°С)?

Решение: Определяем затраты теплоты на нагрев битума по формуле

$$Q = B c_6 (t_2 - t_1) = 10\,000 \cdot 0,9(150 - 90) = 540\,000 \text{ кДж} = 540 \text{ МДж}.$$

Пример 8.6. Определить потребное количество материалов для изготовления $m_{6и} = 350$ кг битумной пасты с эмульгатором из негашеной извести.

Решение: В соответствии с данными СТБ 1245–2000 следует, что состав пасты может быть: битума $B = 50$ %, эмульгатора $\Xi = 10$ %, воды $B = 40$ %.

Тогда для приготовления 350 кг пасты необходимо:

$$B = \frac{B_{\%} \cdot m_{6и}}{100} = \frac{50 \cdot 350}{100} = 175 \text{ кг};$$

$$\Xi = \frac{\Xi_{\%} \cdot m_{6и}}{100} = \frac{10 \cdot 350}{100} = 35 \text{ кг};$$

$$B = \frac{B_{\%} \cdot m_{6и}}{100} = \frac{40 \cdot 350}{100} = 140 \text{ кг (л)}.$$

Пример 8.7. Подсчитать расход материалов для изготовления $m_m = 1000$ кг мастики для приклейки рубероида к бетонному основанию.

Решение: Приклеивающие мастики для рубероида согласно СТБ 1262–2001 имеют состав: битума 70–90 %, наполнителя 30–10 %. Принимая для задачи количество битума $B = 80$ % и для наполнителя $H = 20$ %, на 1000 кг мастики необходимо:

$$B = \frac{B_{\%} \cdot m_m}{100} = \frac{80 \cdot 1000}{100} = 800 \text{ кг};$$

$$H = \frac{H_{\%} \cdot m_m}{100} = \frac{20 \cdot 1000}{100} = 200 \text{ кг}.$$

Пример 8.8. Определить истинную плотность активированного минерального порошка, содержащего $q_a = 2$ % (по массе) активатора – смеси битума и поверхностно-активного вещества и сверх $q_{м.ч} = 100$ % минеральной части порошка. Истинные плотности минеральной части $\rho_{м.ч} = 2720$ кг/м³, активатора $\rho_a = 980$ кг/м³.

Решение: Для расчета истинной плотности используем формулу

$$\rho_{a.п} = \frac{q_{м.ч} + q_a}{q_{м.ч}/\rho_{м.ч} + q_a/\rho_a} = \frac{100 + 2}{100/2720 + 2/980} = 268,4 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 8.9. Рассчитать состав асфальтобетона по массе и общее содержание битума (% от массы бетона). Материалы: битум, асфальтовый порошок с содержанием битума 9 %, песок и щебень. Истинная плотность щебня и песка $\rho_{\text{и.а.п.}} = 2,62 \text{ кг/л}$, а асфальтового порошка — $\rho_{\text{а.п.}} = 2,2 \text{ кг/л}$, насыпные плотности в уплотненном состоянии ρ_n соответственно равны 1,44, 1,7 и 1,49 кг/л. Истинная плотность битума $\rho_{\text{и.б.}} = 1 \text{ кг/л}$. Для повышения удобоукладываемости смеси следует добавить 3 % битума от массы заполнителя. Остающаяся пустотность в бетоне составляет 3 %.

Решение: Для заполнения 1 м^3 асфальтобетона за вычетом 3 % пустот потребуется материалов $V_m = 1 - 0,03 = 0,97 \text{ м}^3$.

Пустотности щебня $\Pi_{\text{щ}}$, песка $\Pi_{\text{п}}$ и асфальтового порошка $\Pi_{\text{а}}$ соответственно составляют 0,45; 0,35; 0,32 (определены расчетным путем).

В плотной смеси количество составляющих с учетом добавки битума B будет

$$V_m = 0,97 = V_{\text{щ}} \cdot 0,55 + V_{\text{п}} \cdot 0,65 + V_{\text{а}} \cdot 0,68 + B. \quad (1)$$

Далее составляем систему уравнений по следующим условиям: пустоты в щебне с избытком в 25 % заполняют песком, асфальтовым порошком и битумом, т.е.

$$1,25 \cdot 0,45 V_{\text{щ}} = V_{\text{п}} \cdot 0,65 + V_{\text{а}} \cdot 0,68 + B; \quad (2)$$

пустоты в песке с избытком в 25 % заполняют асфальтовым порошком и битумом, а именно

$$1,25 \cdot 0,35 V_{\text{п}} = V_{\text{а}} \cdot 0,68 + B; \quad (3)$$

пустоты в асфальтовом порошке — битумом с избытком 25 %

$$1,25 \cdot 0,32 V_{\text{а}} = B. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения 1 и 2, получим

$$0,97 = V_{\text{щ}} \cdot 0,55 + 1,25 \cdot 0,45 V_{\text{щ}}, \text{ откуда } V_{\text{щ}} = 0,87 \text{ м}^3.$$

Решая совместно уравнения 2 и 3, получим

$$1,25 \cdot 0,45 \cdot 0,87 = 0,65 V_{\text{п}} + 1,25 \cdot 0,35 V_{\text{п}}; V_{\text{п}} = 0,45 \text{ м}^3.$$

Решая совместно уравнения 3 и 4, получим

$$1,25 \cdot 0,35 \cdot 0,45 = V_{\text{а}} \cdot 0,68 + V_{\text{а}} \cdot 0,40; V_{\text{а}} = 0,18 \text{ м}^3.$$

Тогда

$$B = 1,25 \cdot 0,32 \cdot V_{\text{а}} = 0,072 \text{ м}^3.$$

Расход материалов на 1 м^3 бетона по массе составит:

$$\text{Щ} = 0,87 \cdot 0,55 \cdot 2620 = 1250 \text{ кг};$$

$$\text{П} = 0,45 \cdot 0,65 \cdot 2620 = 770 \text{ кг}.$$

С учетом добавки битума 3 % будем иметь:

$$\text{Щ} = 1250 \cdot 0,97 = 1210 \text{ кг};$$

$$\text{П} = 770 \cdot 0,97 = 750 \text{ кг};$$

$$A = 0,18 \cdot 0,68 \cdot 2200 = 269 \text{ кг};$$

$$B = 72 + 0,03(1250 + 750) = 132 \text{ кг}.$$

Средняя плотность асфальтобетона

$$\rho_{\text{с.а.}} = \text{Щ} + \text{П} + A + B = 1210 + 750 + 269 + 132 = 2361 \text{ кг/м}^3.$$

Общее содержание битума в бетоне

$$B_r = B + 0,09 \cdot A = 132 + 0,09 \cdot 269 = 156 \text{ кг},$$

что по отношению к массе асфальтобетона составит

$$\frac{1562}{2361} \cdot 100 = 6,6 \text{ \%}.$$

Состав бетона по массе следующий:

$$B : A : \text{П} : \text{Щ} = \frac{132}{132} : \frac{269}{132} : \frac{750}{132} : \frac{1210}{132} \text{ или } 1 : 2,04 : 5,68 : 9,17.$$

Пример 8.10. Найти оптимальную дозировку комбинированного наполнителя для битумной мастики, если опытами установлены следующие средние плотности смеси:

асбеста — 80 % + трепела — 20 %; средняя плотность — 0,916 кг/л;

асбеста — 50 + трепела — 50 %; средняя плотность — 1,218 кг/л;

асбеста — 40 % + трепела — 60 %; средняя плотность — 1,10 кг/л.

Содержание асбеста и трепела указано в процентах по массе. Истинные плотности: асбеста — 2,5 кг/л; трепела — 2,3 кг/л.

Решение: Оптимальная дозировка мастики должна дать наиболее плотную смесь наполнителей.

Плотность 1 л первой смеси

$$\rho_1 = \frac{\rho_{с.с1}}{\rho_{н.с1}} = \frac{0,8 \cdot 0,916}{2,5} + \frac{0,20 \cdot 0,916}{2,3} = 0,371.$$

Плотность 1 л второй смеси

$$\rho_2 = \frac{\rho_{с.с2}}{\rho_{н.с2}} = \frac{0,5 \cdot 1,218}{2,5} + \frac{0,5 \cdot 1,218}{2,3} = 0,507.$$

Плотность 1 л третьей смеси

$$\rho_3 = \frac{\rho_{с.с3}}{\rho_{н.с3}} = \frac{0,4 \cdot 1,10}{2,5} + \frac{0,6 \cdot 1,10}{2,3} = 0,462.$$

Вторая смесь наиболее плотная, поэтому и должна быть применяема для приготовления мастики.

Пример 8.11. Установить пористость минеральной части и остаточную пористость мелкощебенистого мелкозернистого плотного дегтебетона, содержащего 9 % дегтя с истинной плотностью $\rho_{н.д} = 1120$ кг/м³, если истинная плотность минеральной части дегтебетона $\rho_{н.аб} = 2600$ кг/м³, а средняя плотность дегтебетона $\rho_{с.дб} = 2270$ кг/м³.

Решение: Средняя плотность минеральной части дегтебетона

$$\rho_{с.м.ч} = \frac{\rho_{с.дб} \cdot q_{м.ч}}{(q_{м.ч} + q_d)},$$

где $\rho_{с.дб}$ — средняя плотность дегтебетона, кг/м³; q_d — процентное содержание дегтя в дегтебетоне, сверх 100 % минеральной части $q_{м.ч}$.

Отсюда

$$\rho_{с.м.ч} = \frac{2270 \cdot 100}{(100 + 9)} = 2082,6 \text{ кг/м}^3.$$

Пористость минеральной части дегтебетона

$$P_{м.ч} = \left(1 - \frac{\rho_{с.м.ч}}{\rho_{н.ч}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{2082,6}{2600}\right) \cdot 100 = 20 \%.$$

Истинная плотность дегтебетона

$$\rho_{н.дб} = \frac{q_{м.ч} + q_d}{\frac{q_{м.ч}}{\rho_{н.м.ч}} + \frac{q_d}{\rho_{н.д}}} = \frac{100 + 9}{\frac{100}{2600} + \frac{9}{1120}} = 2369,6 \text{ кг/м}^3.$$

Остаточная пористость дегтебетона

$$P_{о.дб} = \left(1 - \frac{\rho_{с.дб}}{\rho_{н.дб}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{2270}{2369,6}\right) \cdot 100 = 4,3 \%.$$

Пример 8.12. Рассчитать расход минеральных составляющих и битума на 1 км верхнего слоя дорожного покрытия толщиной $h = 4$ см при ширине проезжей части $b = 7$ м, если в смеси содержится щебня 25 %, искусственного песка 35 %, песка 30 %, минерального порошка 10 %, битума 6,5 % (сверх 100 % минеральной части). Средняя плотность асфальтобетона $\rho_{с.а} = 2343$ кг/м³.

Решение: Объем асфальтобетона на 1 км дорожного покрытия

$$V_a = L \cdot b \cdot h = 1000 \cdot 7 \cdot 0,04 = 280 \text{ м}^3.$$

Масса асфальтобетона

$$m_a = V_a \cdot \rho_{с.а} = 280 \cdot 2343 = 656\,040 \text{ кг} = 656 \text{ т}.$$

Расход щебня

$$\text{Щ} = \frac{m_a \cdot 25}{100 + 6,5} = \frac{656 \cdot 25}{100 + 6,5} = 154,0 \text{ т}.$$

Расход искусственного песка

$$\text{ИП} = \frac{m_a \cdot 35}{100 + 6,5} = \frac{656 \cdot 35}{100 + 6,5} = 215,6 \text{ т}.$$

Расход песка

$$\text{П} = \frac{m_a \cdot 6,5}{100 + 6,5} = \frac{656 \cdot 30}{100 + 6,5} = 184,8 \text{ т}.$$

Расход минерального порошка

$$\text{МП} = \frac{m_a \cdot 10}{100 + 6,5} = \frac{656 \cdot 10}{100 + 6,5} = 61,6 \text{ т}.$$

Расход битума

$$B = \frac{m_a \cdot 6,5}{100} = \frac{656 \cdot 6,5}{100} = 42,6 \text{ т.}$$

Пример 8.13. Найти массы минеральных составляющих и вязкого нефтяного дорожного битума для приготовления $Q = 300$ т горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона. Истинная плотность битума $\rho_{н.б} = 980 \text{ кг/м}^3$, средняя плотность минеральной части асфальтобетона $\rho_{с.а} = 2240 \text{ кг/м}^3$, пористость минеральной части 17 %, остаточная пористость асфальтобетона по объему 4 %.

Решение: Процентное содержание битума в асфальтобетоне сверх 100 % минеральной части

$$B = (\Pi_m - \Pi_n) \frac{\rho_{н.б}}{\rho_{с.а}} = (17 - 4) \frac{980}{2240} = 5,7 \text{ \%}.$$

Массу минеральных составляющих для приготовления заданной массы асфальтобетонной смеси вычисляем по формуле

$$M_m = \frac{QM}{(M + B)},$$

где Q — заданная масса асфальтобетонной смеси, т; M — содержание минеральных составляющих в асфальтобетонной смеси, %; $M = 100$ %. Тогда

$$M_m = \frac{300 \cdot 100}{(100 + 5,7)} = 283,8 \text{ т.}$$

Массу битума в 300 т смеси можно вычислить двумя способами: по формуле

$$B_m = QB(M + B) = 300 \cdot 5,7(100 + 5,7) = 16,2 \text{ т,}$$

или путем вычитания из общей массы смеси массы минеральной части, а именно:

$$B_m = Q - M_m = 300 - 283,8 = 16,2 \text{ т.}$$

Пример 8.14. Определить коэффициент вариации предела прочности асфальтобетона при сжатии (температура +20 °С) по следующим результатам испытания 18 образцов R_i , МПа: 5,7; 5,7; 5,8; 5,8; 5,9; 6,0; 6,1; 6,3; 6,4; 6,5; 6,6; 6,7; 6,8; 6,9; 7,0; 7,1; 7,2; 8,2.

Решение: Вычисляем среднее арифметическое по формуле

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i,$$

где $\sum_{i=1}^n R_i$ — сумма измеренных значений предела прочности; n — число измерений.

Получаем

$$\bar{R} = \frac{104,7}{18} = 6,483 \text{ МПа.}$$

Для расчета среднего квадратического отклонения используем формулу

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2},$$

откуда

$$\sigma = \sqrt{\frac{73,7}{17}} = 0,66 \text{ МПа.}$$

Коэффициент вариации предела прочности асфальтобетона при сжатии

$$K_v = \left(\frac{\sigma}{\bar{R}} \right) \cdot 100 = \frac{0,66}{6,483} \cdot 100 = 10,1 \text{ \%}.$$

Пример 8.15. Установить минимальное количество образцов для определения предела прочности асфальтобетона при сжатии с погрешностью 5 % по результатам испытаний, приведенным в примере 8.14.

Решение: Минимальное число наблюдений, необходимое для получения достаточно надежных и достоверных результатов, можно рассчитать по формуле

$$N_{\min} = \frac{K_v^2 t^2}{m^2},$$

где K_v — коэффициент вариации (изменчивости), %; t^2 — критерий Стьюдента; m — погрешность измерений, %.

Из решения задачи 8.14 $K_v = 10,1$ %. Согласно условию задачи $m = 5$ %. Значение критерия Стьюдента для заданных довери-

тельной вероятности $\Phi_{cr} = 0,95$ и числа образцов $n = 18$ принимаем $t^2 = 2,11$. Тогда

$$N_{min} = \frac{10,2^2 \cdot 2,11^2}{5^2} = 18,5 \approx 19 \text{ (образцов)}.$$

Задачи

8.1. Указать, какой вязкий нефтяной битум более пригоден для асфальтобетона в районах с резко континентальным климатом: а) с температурой размягчения $+52^\circ\text{C}$ и температурой хрупкости -16°C ; б) с температурой размягчения $+44^\circ\text{C}$ и температурой хрупкости -20°C .

8.2. Сравниваются два вида битума: а) с пенетрацией при $+25^\circ\text{C}$ — 72 и температурой размягчения $+46^\circ\text{C}$; б) с пенетрацией при $+25^\circ\text{C}$ — 46 и температурой размягчения $+54^\circ\text{C}$. У какого из этих видов битума теплоустойчивость выше?

8.3. При испытании в дуктилометре при температуре $+23^\circ\text{C}$ разрыв образцов произошел: первого — при длине нити 38 см, второго — 42 см и третьего — 46 см.

Определить марку нефтяного битума согласно ГОСТ 15505–75 по растяжимости.

8.4. Чему равна (ориентировочно) динамическая вязкость битума, обладающего при $+25^\circ\text{C}$ пенетрацией 47?

8.5. Установить условную вязкость и марку битума, индекс пенетрации которого — 1,2, а температура размягчения $+47^\circ\text{C}$.

8.6. Какова условная вязкость битума с индексом пенетрации +1,1 и температурой размягчения $+55^\circ\text{C}$? Назвать его марку.

8.7. Какое количество теплоты потребуется для нагрева 12 т битума в битумоплавильном котле с $+80^\circ\text{C}$ до $+140^\circ\text{C}$ при удельной теплоемкости битума $1,9 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$? Потери не учитывать.

8.8. Чтобы изготовить холодную асфальтобетонную смесь, израсходовано 50 т жидкого битума с вязкостью по стандартному вискозиметру $C^3_5 = 110$ с. Сколько понадобилось дизельного топлива для разжижения вязкого битума, если его смесь с 18 % разжижителя имеет вязкость $C^3_{80} = 69$ с, а с 12 % — 151 с?

8.9. Для изготовления 350 т дегтебетонной смеси ввели 9 % дегтя вязкостью $C^1_{50} = 44$ с. Сколько антраценового масла и песка в отдельности затрачено на изготовление дегтебетонной смеси, если при подборе состава дегтя заданной вязкости из этих компонентов вязкость по стандартному вискозиметру C^1_{50} смеси с 30 % антраценового масла составила 70 с, а с 40 % масла — 35 с?

8.10. Определить содержание в эмульсии битума с эмульгатором, если масса выпарительной чашки со стеклянной палочкой 157 г, масса чашки с палочкой и эмульсией (до выпаривания) 185,2 г, масса чашки с палочкой и остатком после выпаривания воды из эмульсии 171,7 г.

8.11. Масса выпарительной чашки со стеклянной палочкой 165 г, масса чашки с палочкой и эмульсией (до выпаривания) 193,4 г, масса чашки с палочкой и остатком после выпаривания воды из эмульсии 180,2 г. Каково содержание в эмульсии битума с эмульгатором?

8.12. Сколько необходимо антраценового масла для приготовления 450 т плотного дегтебетона из холодной песчаной смеси, если для приготовления дегтя марки Д-5 требуется 45 % антраценового масла и 55 % коменноугольного пека? Пористость минерального остова дегтебетона 20 %, средняя плотность минерального остова 2100 кг/м^3 , остаточная пористость дегтебетона по объему 3 %, истинные плотности песка 1280 кг/м^3 , масла 1120 кг/м^3 .

8.13. Определить пористость минерального остова и остаточную пористость асфальтобетона следующего состава: щебня — 17 %, высевок — 38 %, песка — 36 %, минерального порошка — 9 %, битума — 7 %. Истинные плотности компонентов: щебня — 2630 кг/м^3 , искусственного песка — 2660 кг/м^3 , кварцевого песка — 2610 кг/м^3 , минерального порошка — 2690 кг/м^3 , битума — 980 кг/м^3 . Средняя плотность асфальтобетона — 2280 кг/м^3 .

8.14. Какова пористость минерального остова и остаточная пористость щебеночного холодного дегтебетона, содержащего 7,5 % дегтя с истинной плотностью 1140 кг/м^3 , если истинная плотность минеральной части дегтебетона 2630 кг/м^3 , а средняя плотность дегтебетона 2240 кг/м^3 ?

8.15. Рассчитать расход минеральных составляющих и битума на 1 км верхнего слоя дорожного покрытия толщиной 5 см при ширине проезжей части 6 м, если в смеси содержится щебня 18 %, искусственного песка —

42 %, кварцевого песка — 32 %, минерального порошка — 8 %, битума — 5,5 % (сверх 100 % минеральной части). Средняя плотность асфальтобетона 2280 кг/м³.

8.16. Найти расход составляющих пористого дегтебетона для устройства нижнего слоя дорожного покрытия протяженностью 1 км, толщиной 8 см, шириной 7 м. Состав дегтебетона: щебня крупного — 15 %, щебня мелкого — 25 %, высевок — 40 %, песка — 20 %, дегтя — 6,5 % (сверх 100 %). Средняя плотность дегтебетона 2350 кг/м³.

8.17. Вычислить коэффициент вариации показателя прочности асфальтобетона при сжатии (температура +50 °С) по следующим результатам испытания 20 образцов, МПа: 1,2; 1,2; 1,3; 1,3; 1,3; 1,4; 1,4; 1,5; 1,5; 1,5; 1,5; 1,6; 1,7; 1,7; 1,8; 1,8; 1,8; 1,8; 1,9; 2,2.

8.18. На строительную площадку доставили битум марки БНК 90/40 с температурой размягчения +90 °С и БН — 50/50 с температурой размягчения +52 °С.

Сколько весовых частей каждого необходимо взять, чтобы получить мастику с температурой размягчения, соответствующей нефтештукатурке марки БН — 70/70, т. е. +68 °С

9. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Древесина характеризуется сравнительно высокой прочностью при любой плотности, небольшой теплопроводностью, легкостью обработки, простотой скрепления между собой отдельных элементов, высокой морозостойкостью и удовлетворительным сопротивлением действию многих химических реагентов. К недостаткам древесины относятся гигроскопичность, загниваемость и возгораемость, анизотропность (неоднородность физико-механических свойств в разных направлениях), наличие пороков. Для оценки качеств древесины как сырья для получения различных строительных конструкций изучают ее макро- и микроструктуру, определяют физические, механические и эксплуатационные свойства, а также пороки.

При решении задач по древесным материалам необходимо знать, что изменение влажности древесины от нуля до точки насыщения (предела гигроскопичности) вызывает изменение объема древесины, приводит к разбуханию, сушке, короблению древесины и появлению трещин. Когда же древесина достигла предела гигроскопичности, дальнейшее увеличение влажности не влияет на ее прочность.

По этой причине следует уметь определять влажность древесины и производить соответствующие расчеты. Например, зная предел прочности древесины и ее влажность, можно рассчитать прочность, которую она будет иметь при 12 %-й влажности, условно принятой за эталон. Возможны расчеты в обратном направлении.

Волокнистое анизотропное строение древесины предопределяет неодинаковые ее механические, теплотехнические и другие свойства в различных направлениях. Это качество древесины необходимо учитывать при определении ее физико-механических свойств.

Кроме того, существуют эмпирические формулы для ориентировочного определения прочности древесины (в зависимости от ее средней плотности), которыми следует уметь пользоваться в повседневной строительной практике. Для этих же целей важно уметь определять объем древесины (например, бревен) по данным их обмера.

Примеры таких расчетов приводятся ниже.

Примеры

Пример 9.1. Определить влажность образца древесины, если первоначальная масса бруска с образцом $m_1 = 90$ г, а после высушивания до достижения постоянной массы $m_2 = 76$ г. Масса сухого бруска $m = 12$ г.

Решение: Влажность древесины с погрешностью до 0,1 % вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} \cdot 100 = \frac{90 - 76}{76 - 12} \cdot 100 = 21,9 \%$$

Пример 9.2. Каковы (ориентировочно) показатели прочности древесины ели при сжатии и изгибе, если содержание поздней древесины $m = 24$ %?

Решение: Зависимость предела прочности древесины хвойных пород при сжатии от содержания поздней древесины выражается формулой

$$D_{сж}^{12} = 0,6m + 30.$$

Отсюда

$$D_{сж}^{12} = 0,6 \cdot 24 + 30 = 44,4 \text{ МПа.}$$

Прочность древесины хвойных пород при поперечном изгибе

$$D_{сж}^{12} = 1,4m + 56 = 1,4 \cdot 24 + 56 = 89,6 \text{ МПа.}$$

Пример 9.3. Образец древесины размером 10x10x8 см имеет влажность $W = 20$ %. После высушивания до нулевой влажности размеры его стали 9,5x9,5x7,8 см. Определить объемную усушку и коэффициент объемной усушки.

Решение: Объемная усушка определяется по формуле

$$U_v = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \cdot 100 = \frac{800 - 704}{704} \cdot 100 = 13,6 \%,$$

где

$$V_1 = 10 \cdot 10 \cdot 8 = 800 \text{ см}^3; V_2 = 9,5 \cdot 9,5 \cdot 7,8 = 704 \text{ см}^3.$$

$$\text{Коэффициент объемной усушки } K_{U_v} = \frac{U_v}{W} = \frac{13,6}{20} = 0,6.$$

Пример 9.4. Установить линейную и объемную усушку древесины, образец которой имел во влажном состоянии размер 20 x 20 x 30 мм, а после высушивания до нулевой влажности 17 x 17 x 28 мм.

Решение: В соответствии с ГОСТ 16483.7-71 линейную усушку древесины определяют по следующим формулам (с погрешностью до 0,1 %):

для тангенциального направления

$$U_t = \frac{a - a_0}{a} \cdot 100,$$

для радиального направления

$$U_r = \frac{b - b_0}{b} \cdot 100.$$

Здесь a, b — размеры образца при начальной влажности, мм; a_0, b_0 — то же в абсолютно сухом состоянии, мм.

Получаем

$$U_t = \frac{20 - 17}{20} \cdot 100 = 15 \%; U_r = \frac{30 - 28}{30} \cdot 100 = 6,6 \%.$$

Объемная усушка древесины (с погрешностью до 0,1 %):

$$U_v = \frac{a^2b - a_0^2b_0}{a^2b} \cdot 100 = \frac{20^2 \cdot 30 - 17^2 \cdot 28}{20^2 \cdot 30} \cdot 100 = 32,5 \%.$$

Пример 9.5. У образца древесины линейная усушка в тангенциальном направлении $U_t = 15$ %, в радиальном $U_r = 6,7$ %; объемная усушка $U_v = 4$ %; первоначальная влажность $W = 23$ %. Вычислить коэффициенты линейной и объемной усушки.

Решение: Коэффициенты линейной и объемной усушки древесины находят с погрешностью до 0,01 % из соотношения

$$K_y = \frac{Y}{W}.$$

Коэффициент линейной усушки для тангенциального направления

$$K_{y_t} = \frac{Y_t}{W} = \frac{15}{23} = 0,65.$$

Коэффициент линейной усушки для радиального направления

$$K_{y_r} = \frac{Y_r}{W} = \frac{6,7}{23} = 0,29.$$

Коэффициент объемной усушки

$$K_{y_v} = \frac{Y_v}{W} = \frac{4}{23} = 0,17.$$

Пример 9.6. Деревянный брусок размером $5 \times 5 \times 75$ см после месячного нахождения в воде имел размеры $5,45 \times 5,50 \times 75$ см.

Определить величину линейного и объемного набухания древесины.

Решение: Линейное набухание можно определить согласно выражению

$$\Delta l = \frac{l_n - l_o}{l_o} \cdot 100 = \frac{5,5 - 5,0}{5,0} \cdot 100 = 10 \, \%.$$

Объемное набухание составит

$$\Delta V = \frac{V_n - V_o}{V_o} \cdot 100 = \frac{(5,45 \cdot 5,5 \cdot 75,0) - (5,0 \cdot 5,0 \cdot 75,0)}{5,0 \cdot 5,0 \cdot 75,0} = \frac{2248,13 - 1875}{1875} \cdot 100 = 19,9 \, \%.$$

Пример 9.7. Определить прочность древесины сосновых досок 15 %-й влажности, хранящихся на закрытом складе при температуре $+22^\circ\text{C}$ и влажности воздуха 60 %, если при данных условиях прочность древесины составляет: при изгибе — 70 МПа (700 кгс/см²), при сжатии — 41 МПа (410 кгс/см²).

Фактическая влажность сосновых досок при температуре $+22^\circ$ и влажности воздуха 60 % составляет $W = 10,8 \, \%$.

Решение: Прочность древесины при сжатии и при изгибе вдоль волокон при влажности 15 % определяется по формуле

$$R_{ск}^{15} = R_w k + \beta (W - 20),$$

где R_w — предел прочности при сжатии (изгибе) вдоль волокон при влажности образца в момент испытания, кг/см²; k — пересчетный коэффициент на влажность (табл. 9.1 и 9.2); β — поправочное число на температуру: для древесины ели, пихты, сосны и кедра $\beta = 2,5$ кг/см²; древесины обыкновенной $\beta = 3,5$ кг/см² и древесины лиственницы и лиственных пород $\beta = 4,5$ кг/см².

Тогда прочность древесины сосновых досок при сжатии вдоль волокон

$$R_{ск}^{15} = 410 \cdot 0,8 + 2,5(10,8 - 20) = 305 \text{ кгс/см}^2.$$

Прочность при изгибе составит

$$R_{ск}^{15} = 700 \cdot 0,84 + 2,5(10,8 - 20) = 565 \text{ кгс/см}^2.$$

При ориентировочном испытании допускается определение предела прочности при сжатии вдоль волокон без определения влажности. В этом случае испытание производится, но древесина должна иметь влажность 30 % и более. При меньшей влажности допускается ее увлажнение путем выдерживания в воде:

ели, сосны, кедра, заболони сосны, березы — не менее 4 ч;
лиственницы, ядр сосны, дуба и кольцесосудистых пород — не менее 20 ч.

Таблица 9.1. Значение пересчетного коэффициента K на влажность (при сжатии вдоль волокон)

Влажность, %	Средние значения пересчетного коэффициента K на влажность (при сжатии вдоль волокон) для			
	акации, дуба, вяза	бука, сосны	ели, осины, пихты	березы, лиственницы
0	0,525	0,455	0,55	0,465
3	0,595	0,520	0,615	0,510
6	0,675	0,610	0,690	0,590
10	0,805	0,760	0,810	0,760
15	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,130	1,180	1,150	1,130
21	1,275	1,385	1,315	1,405
25	1,455	1,660	1,575	1,730
30	1,620	1,900	1,975	2,125

Таблица 9.2. Средние значения пересчетного коэффициента К на влажность (при изгибе)

Влажность, %	Средние значения пересчетного коэффициента К на влажность (при изгибе) для		
	дуба, ясеня, вяза	осины, бука, сосны	березы, лиственницы
0	0,510	0,515	0,525
3	0,580	0,585	0,595
6	0,670	0,675	0,680
10	0,800	0,805	0,805
15	1,0	1,0	1,0
20	1,210	1,220	1,225
25	1,375	1,410	1,455
30	1,4256	1,515	1,615

Пример 9.8. Сосновый брусок имеет размеры $25 \times 30 \times 400$ мм при влажности $W = 21$ %.

Как изменятся размеры бруска после полного высушивания, а затем увлажнения до предела насыщения? Коэффициент усушки $K_y = 0,44$.

Решение: Усушка при высушивании бруска

$$Y = K_y \cdot W = 0,44 \cdot 21 = 9,24 \text{ %}.$$

Обозначим размер образца при нулевой влажности — a_0 , а при влажности W — a , тогда

$$Y = \frac{a - a_0}{a} \cdot 100,$$

откуда

$$a_0 = \frac{a \cdot (100 - Y)}{100} = \frac{25 \cdot (100 - 9,24)}{100} = 22,7 \text{ мм}.$$

Аналогично определим другие размеры бруска. Они равны 22,7 мм и 363 мм.

Таким образом, после высушивания брусок будет иметь размеры $22,7 \times 27,2 \times 363$ мм.

При увлажнении сухого бруска его линейные размеры увеличатся за счет разбухания древесины, соответствующего пределу насыщения, $W = 30$ %. При этой влажности характерно максимальное разбухание древесины

$$P_{\max} = \frac{a_{\max} - a_0}{a_0} \cdot 100 = K_p \cdot W = 30 K_p,$$

где K_p — коэффициент разбухания, связанный с коэффициентом усушки K_y зависимостью

$$K_p = \frac{100 \cdot K_y}{100 - WK_y} = \frac{100 \cdot 0,44}{100 - 30 \cdot 0,44} = 0,5.$$

Тогда

$$a_{\max} = \frac{a_0(30K_p + 100)}{100} = \frac{22,7(30 \cdot 0,5 + 100)}{100} = 26,1 \text{ мм}.$$

Аналогично найдем другие размеры бруска после увлажнения до предела насыщения. Размеры соснового бруска $26,1 \times 31,3 \times 417,4$ мм.

Пример 9.9. Средняя плотность древесины — сосны, с влажностью 15 % составляет $\rho_{с.с} = 536$ кг/м³. Определить коэффициент конструктивного качества данной древесины, если при испытании на сжатие образца размерами $2 \times 2 \times 3$ см и влажностью 25 % вдоль волокон разрушающее усилие было $P_p = 15,6$ кН, а температура при испытании +23 °С.

Решение: Предел прочности при сжатии: при влажности 25 %:

$$R_{сж}^{25} = \frac{P_p}{F} = \frac{15,6 \cdot 10^3}{2 \cdot 2} = 39 \text{ МПа (390 кгс/см}^2\text{)};$$

при влажности 15 %:

$$R_{сж}^{15} = R_{сж}^{25} K + b(W - 20) = 390 \cdot 1,660 + 3,5(25 - 20) = 664,9 \text{ кгс/см}^2.$$

Коэффициент конструктивного качества

$$KKK = \frac{R_{сж}^{15}}{\rho_{с.с}^{15}} = \frac{664,9}{536} = 1,21.$$

Пример 9.10. Предел прочности древесины при влажности $W = 18$ % составляет: при сжатии $R_{сж} = 43,0$ МПа, при изгибе — $R_{ог} = 75$ МПа. Определить стандартный предел прочности.

Решение: Результаты механических испытаний древесины, влажность которой меньше предела гигроскопичности — 30 %, преобразуют исходя из влажности по формуле

$$R_{\text{сж}}^{12} = R_{\text{сж}}^w [1 + a(W - 12)].$$

Здесь $R_{\text{сж}}^{12}$ — предел прочности древесины при сжатии в условиях стандартной влажности 12 %, МПа; $R_{\text{сж}}^w$ — то же при фактической влажности в момент испытания, МПа; a — поправочный коэффициент, показывающий, насколько изменяется данное свойство при изменении влажности на 1 %, $a = 0,035$ (независимо от породы дерева и направления сжатия).

Получаем

$$R_{\text{сж}}^{12} = 43[1 + 0,035(18 - 12)] = 52,03 \text{ МПа}.$$

Пересчет предела прочности при статическом изгибе производят аналогично:

$$R_{\text{изг}}^{12} = 75[1 + 0,035(18 - 12)] = 75 \cdot 1,23 = 90,75 \text{ МПа}.$$

Пример 9.11. Каков предел прочности древесины по результатам испытания стандартного образца на сжатие из липы размерами $20 \times 20 \times 30$ мм, имеющего влажность $W = 35$ %, если разрушающее усилие $P_p = 26$ кН?

Решение: Предел прочности при сжатии древесины, когда влажность в момент испытания составляет $R_{\text{сж}}^w$, рассчитываем согласно выражению

$$R_{\text{сж}}^w = \frac{P_p}{ab},$$

где P_p — разрушающая нагрузка, Н; a, b — размеры поперечного сечения образца, м.

Отсюда

$$R_{\text{сж}}^{35} = \frac{26\,000}{(0,02 \cdot 0,02)} = 65\,000\,000 \text{ Па} = 65 \text{ МПа}.$$

Для образцов с влажностью, не меньшей предела гигроскопичности — 30 %, прочность при стандартной влажности

$$R_{\text{сж}}^{12} = R_{\text{сж}}^w \cdot k_{12}^{30}.$$

Здесь k_{12}^{30} — коэффициент пересчета к прочности при стандартной влажности, который для липы равен 0,55. В результате получаем

$$R_{\text{сж}}^{12} = 65 \cdot 0,55 = 35,7 \text{ МПа}.$$

Пример 9.12. Образец древесины дуба размерами $2 \times 2 \times 3$ см массой $m_2 = 8,6$ г имеет предел прочности при сжатии вдоль волокон $R_{\text{сж}} = 36,0$ МПа. Определить, при какой влажности образца производилось испытание, среднюю плотность и предел прочности при стандартной влажности, если масса высушенного образца $m_1 = 8,0$ г.

Решение: Влажность образца древесины во время испытания

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 = \frac{8,6 - 8,0}{8,0} \cdot 100 = 7,5 \text{ \%}.$$

Средняя плотность

$$\rho_c = \frac{m_1}{V} = \frac{8,0}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 0,666 \text{ г/см}^3 = 666 \text{ кг/м}^3.$$

Предел прочности при сжатии при стандартной влажности

$$R_{\text{сж}}^{12} = R_{\text{сж}}^w \cdot [1 + a(W - 12)] = 36,0 [1 + 0,035 \cdot (7,5 - 12)] = 30,3 \text{ МПа}.$$

Пример 9.13. Определить, какое количество сосновых досок размерами $600 \times 20 \times 4$ см можно пропитать 3%-м раствором антисептика в количестве $V_p = 300$ л. Пористость древесины $\Pi_d = 50$ %.

Решение: Количество раствора, необходимое для пропитки одной доски:

$$m_p = \frac{V_p \cdot \Pi_d (\%) }{100} = \frac{(600 \cdot 20 \cdot 4) \cdot 50}{100} = 2400 \text{ см}^3 = 2,4 \text{ дм}^3 = 2,4 \text{ л}.$$

Данным количеством раствора можно пропитать

$$N_d = \frac{V_p}{m_p} = \frac{300}{2,4} = 125 \text{ досок}.$$

Пример 9.14. Определить расход раствора фтористого натрия на 1 м^3 воздушносухой (при 20%-й влажности) древесины при антисептировании соснового лесоматериала, имея в виду пропитку по способу горяче-холодной ванны, т. е. с полным насыщением древесины раствором NaF. Применяется 3%-й раствор NaF. Средняя плотность древесины $\rho_{\text{с.д.}} = 450 \text{ кг/м}^3$, водопоглощение $V_d = 130$ %. Заболонь занимает в среднем 0,25 % объема древесины. Ядро практически не пропитывается.

Решение: Водопоглощение при пропитке воздушносухой (20%-й влажности) древесины

$$\omega = \omega_d - W = 130 - 20 = 110 \%$$

На 1 м³ древесины требуется раствора фтористого натрия исходя из пропитки только заболони:

$$m_{\text{NaF}} = \rho_{\text{ср}} \cdot \omega \cdot 0,25 = 450 \cdot 1,1 \cdot 0,25 = 124 \text{ кг.}$$

Так как применяется 3 %-й раствор фтористого натрия, то расход NaF на 1 м³ древесины составит

$$m_{\text{NaF}(3\%)} = m_{\text{NaF}} \cdot 0,03 = 124 \cdot 0,03 = 3,7 \text{ кг.}$$

Задачи

9.1. Установить влажность образца древесины, если первоначальная масса бруска с образцом составляет 82 г, а после высушивания до достижения постоянной массы — 64 г. Масса сухого бруска 12,5 г.

9.2. Масса древесины сосны до сушки составила 172 г, а после сушки при температуре +105 °С — 82 г.

Рассчитать абсолютную и относительную влажность сосны.

9.3. Определить ориентировочные показатели предела прочности древесины дуба при сжатии и изгибе по содержанию поздней древесины, равному 36 %.

9.4. Сосновый брусок имеет размеры 25 × 30 × 400 мм и массу 170 г при влажности 20 %.

Определить среднюю плотность древесины сосны при этой же влажности.

9.5. Образец древесины массой 70 г высушивался при температуре +100...+105 °С и периодически взвешивался. При первом взвешивании масса оказалась равной 50 г, при втором — 45 г, при третьем — 40 г, при четвертом — 40 г.

Определить влажность древесины.

9.6. После сушки в камере при температуре +60 °С сосновые доски имели влажность 7 %, а затем хранились длительное время на складе при температуре +10 °С и относительной влажности воздуха 80 %.

Определить, как при этом изменилась влажность досок.

9.7. Определить линейную и объемную усушку древесины, размер образца из которой во влажном состоянии равнялся 20 × 20 × 30 мм, а после высушивания до нулевой влажности — 19 × 19 × 28 мм.

9.8. Объем дубового бруска до сушки составил 280 см³ при влажности 24 %, а после сушки при температуре +105 °С до постоянной массы — 250 см³. Рассчитать величину объемной усушки бруска и коэффициент усушки дуба.

9.9. Вычислить коэффициенты линейной и объемной усушки древесины, у образца которой линейная усушка в тангенциальном направлении составила 13,5 %, в радиальном направлении — 7,2 % и объемная усушка — 3,6 %. Первоначальная влажность древесины 19 %.

9.10. Дубовая доска размерами 25 × 150 × 600 мм имеет массу 1625 г при влажности древесины 21 %.

Определить среднюю плотность древесины дуба при стандартной влажности 12 %, принимая коэффициент объемной усушки равным 0,50.

9.11. Установить стандартный предел прочности древесины при сжатии и изгибе, если в условиях влажности 22 % эти характеристики равны соответственно 36 и 62 МПа.

9.12. Образец из сосны в виде прямоугольной призмы с основанием 20 × 20 мм и высотой 30 мм (вдоль волокон) при испытании на сжатие вдоль волокон под прессом разрушился при 1100 кг.

Определить предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон при стандартной влажности, если влажность ее в момент испытания составляла 26 %.

9.13. Чему равен предел прочности древесины дуба при стандартной влажности, если разрушающая нагрузка при испытании образца размерами 20 × 20 × 30 мм составила 27,5 кН при влажности древесины 34 %?

9.14. Стандартно изготовленный образец из составной древесины (размеры в рабочей части 20 × 4 мм) разорвался при нагрузке 120 кН.

Чему равен предел прочности древесины сосны на растяжение вдоль волокон и необходимо ли учитывать при этом ее влажность?

9.15. Масса образца стандартных размеров, вырезанного из древесины (дуба), равна 8,76 г; при сжатии вдоль волокон предел его прочности оказался равным 37,1 МПа.

Определить влажность, среднюю плотность и предел прочности дуба при стандартной влажности, если масса высушенного такого же образца составляет 7,0 г.

9.16. Образцы древесины в виде прямоугольных призм сечением 20 x 20 мм и высотой 30 мм при влажности 20 % разрушились при испытании на сжатие вдоль волокон при максимальной нагрузке 0,0147 МН. Другие образцы из этой же породы древесины в виде прямоугольных призм сечением 20 x 20 мм и высотой 30 мм при 20 % разрушились при испытании на статический изгиб по одноточечной схеме при максимальной нагрузке 0,0014 МН.

Определить породу древесины, из которой изготовлены образцы.

9.17. Сравнить для лиственницы и липы при стандартной влажности предел прочности при сжатии вдоль волокон и поперек волокон в радиальном и тангенциальном направлениях.

Разрушающая нагрузка при сжатии вдоль волокон оказалась для лиственницы 0,026 МН, липы – 0,018 МН; поперек волокон в радиальном направлении: для лиственницы – 0,0027 МН, для липы – 0,0034 МН; в тангенциальном направлении: для лиственницы – 0,0037 МН, для липы – 0,0031 МН.

9.18. Определить количество фтористого натрия, применяемого для антисептирования древесины в виде 3 %-го раствора. Общий объем пропитываемой древесины 2 м³, пропитка полная, пористость древесины 60 %. Истинная плотность фтористого натрия 1,06 г/см³.

10. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Полимеры представляют собой высокомолекулярные соединения (смолы), молекулы которых состоят из многократно повторяющихся структурных звеньев. По происхождению полимеры подразделяются на природные и искусственные. На основе природных и искусственных и высокомолекулярных соединений — полимеров — приготавливают пластические массы, характерной особенностью которых является способность в процессе переработки принимать заданную форму и устойчиво сохранять ее.

Полимерные материалы являются эффективными строительными материалами и по ряду свойств превосходят традиционные. К их положительным качествам следует отнести малую среднюю плотность, высокий предел прочности и коэффициент конструктивного качества, низкий коэффициент теплопроводности, высокую коррозионную стойкость, светопрозрачность.

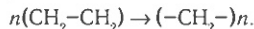
К недостаткам полимерных материалов относятся их способность к старению, низкая теплостойкость, токсичность, что ограничивает область их применения.

Большинство этих свойств, как положительных, так и отрицательных, нормируются ГОСТами, СТБ, знание которых позволяет дать правильную оценку качеству рассматриваемых материалов, производить необходимые инженерно-технические расчеты, в чем и помогут предлагаемые примеры и задачи и их решения.

Примеры

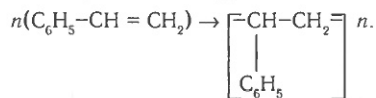
Пример 10.1. Написать реакцию полимеризации этилена и стирола. Какие продукты при этом получаются и где применяются в строительстве?

Решение: Полимеризация этилена идет по уравнению



Полиэтилен применяется в строительстве для изготовления труб, пленок для гидроизоляции, санитарно-технических изделий для водопровода и канализации, различных емкостей и др.

Полимеризация стирола идет по уравнению



Полистирол применяется в строительстве для изготовления облицовочных плиток, вентиляционных решеток, различных изделий (ванны, раковины, трубы) и др.

Пример 10.2. Определение предела прочности при сжатии производилось на пяти образцах для каждого вида пластмасс. Размеры образцов и разрушающие усилия приведены в табл. 10.1. Подсчитать пределы прочности при сжатии.

Таблица 10.1. Размеры образцов и разрушающее усилие

№ образца	Органическое стекло		Стеклопластик	
	размеры образцов (ширина, толщина, высота), мм	разрушающее усилие, Н	размеры образцов (ширина, толщина, высота), мм	разрушающее усилие, Н
1	15x15x15	50 000	10x10x5	15 000
2	14,9x14,8x15	48 600	10,3x9,8x15	15 900
3	14,7x14,9x15,1	49 000	10x9,8x15	16 000
4	14,3x14,5x15,1	49 500	9,7x9,9x15,1	16 200
5	14,7x14,9x15	51 000	10x10x14,7	15 850

Решение: Пределы прочности при сжатии для каждого вида пластмасс определяются как средние значения предела прочности из пяти образцов, а именно:

$$R_{\text{ср.сж}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i,$$

где $\sum_{i=1}^n R_i$ — сумма полученных значений предела прочности; n — число образцов.

Для органического стекла

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n R_i &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = \frac{P_1}{F_1} + \frac{P_2}{F_2} + \frac{P_3}{F_3} + \frac{P_4}{F_4} + \frac{P_5}{F_5} = \\ &= \frac{5000}{1,5 \times 1,5} + \frac{4860}{1,49 \times 1,48} + \frac{4900}{1,47 \times 1,49} + \frac{5100}{1,47 \times 1,49} = \\ &= 11\,368,9 \text{ кгс/см}^2 (1136,9 \text{ МПа}). \end{aligned}$$

$$\text{Тогда } R_{\text{ср.сж}} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \frac{1136,9}{5} = 227,4 \text{ МПа}.$$

Проведя аналогичные расчеты для стеклопластика, получим

$$R_{\text{ср.сж}} = 158,5 \text{ МПа}.$$

Пример 10.3. При испытании прочности пластмасс на ударный изгиб получены данные, приведенные в табл. 10.2. Подсчитать удельные ударные вязкости пластмасс. Выявить, какой материал лучше выдерживает ударные усилия.

Таблица 10.2. Разрушающее усилие при испытании на ударный изгиб

Наименование данных, полученных при испытании образца	Вариант	Пластмасса и номера образцов					
		стеклопластик			древесно-волокнистая		
		1	2	3	1	2	3
Толщина, мм	I	0,7	0,71	0,7	5,1	5,0	5,1
	II	0,7	0,7	0,7	5,1	5,12	5,1
	III	0,69	0,7	0,71	5,2	5,1	5,0
Ширина, мм	I	19,8	19,6	19,4	8,3	8,2	8,25
	II	19,8	19,7	19,7	8,2	8,4	8,3
	III	19,6	19,6	19,7	8,4	8,3	8,2
Разрушающее усилие, кг	I	390	398	392	485	490	493
	II	389	393	397	480	482	490
	III	394	395	400	487	485	492

Решение: Удельную ударную вязкость подсчитывают по формуле

$$\alpha_{\text{уд.в}} = \frac{A}{bh} \text{ кг} \cdot \text{см/см}^2,$$

где A — работа, затрачиваемая на разрушение образца, кг/см; b — ширина образца, см; h — толщина образца, см.

Для стеклопластика с учетом средних значений из результатов испытаний трех образцов удельная ударная вязкость составит:

$$a_{\text{уд.в(1)}} = \frac{A_{\text{ср(1)}}}{e_{\text{ср(1)}} h_{\text{ср(1)}} = \frac{396}{1,965 \cdot 0,07} = 2828,6 \text{ кг} \cdot \text{см} / \text{см}^2;$$

$$a_{\text{уд.в(2)}} = \frac{A_{\text{ср(2)}}}{e_{\text{ср(2)}} h_{\text{ср(2)}} = \frac{393}{1,973 \cdot 0,07} = 2847,8 \text{ кг} \cdot \text{см} / \text{см}^2;$$

$$a_{\text{уд.в(3)}} = \frac{A_{\text{ср(3)}}}{e_{\text{ср(3)}} h_{\text{ср(3)}} = \frac{393,3}{1,96 \cdot 0,0704} = 2850 \text{ кг} \cdot \text{см} / \text{см}^2.$$

Тогда

$$a_{\text{уд.в(ср)}} = \frac{a_{\text{уд.в(1)}} + a_{\text{уд.в(2)}} + a_{\text{уд.в(3)}}}{3} = 2842,1 \text{ кг} \cdot \text{см} / \text{см}^2.$$

Проведя аналогичные расчеты для древесно-волоконистого материала, получим

$$a_{\text{уд.в(ср)}} = 1162,5 \text{ кг} \cdot \text{см} / \text{см}^2.$$

Таким образом, стеклопластик выдерживает в 2,44 раза лучше ударные нагрузки, чем древесноволокнистый материал.

Пример 10.4. При испытании полиэтиленовой и лавсановой пленок на растяжение получены результаты, приведенные в табл. 10.3. Определить пределы прочности пленок на растяжение и их абсолютные и относительные удлинения.

Решение: Приведем пример расчета для одного случая (образца № 1 из полиэтиленовой пленки).

Предел прочности при растяжении

$$R_1 = \frac{P_1}{F_1} = \frac{4,0}{0,0125 \cdot 2,01} = 152,4 \text{ кг} / \text{см}^2 (15,2 \text{ МПа}).$$

Абсолютное удлинение

$$\Delta l = l_1 - l_0 = 400 - 100 = 300 \text{ мм}.$$

Относительное удлинение

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 = \frac{300}{100} \cdot 100 = 300 \text{ } \%$$

Расчетные данные для других образцов по видам пленок приведены в табл. 10.4.

Таблица 10.3. Разрушающее усилие при испытании

Наименование данных, полученных при испытании образцов	Наименование пленок и номера образцов									
	Полиэтиленовая									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Толщина, мм	0,125	0,150	0,172	0,180	0,200	0,190	0,175	0,184	0,198	0,200
Ширина, мм	20,1	20,2	20,4	20,1	20,3	20,4	20,1	20,0	20,1	20,2
Рабочая длина, мм	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Разрушающее усилие, Н	40	41	42	42	42,5	40	38	38,5	39,0	38,9
Длина после испытаний, мм	400	390	395	400	500	520	570	540	500	490
Лавсановая										
Толщина, мм	0,02	0,03	0,025	0,028	0,029	0,030	0,026	0,025	0,029	0,030
Ширина, мм	20,4	20,5	20,9	20,7	20,1	20,4	20,8	20,2	20,3	20,7
Рабочая длина, мм	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Разрушающее усилие, Н	100	109	110	112	120	119	118	109	107	120
Длина после испытаний, мм	190	200	220	215	240	198	240	230	250	270

Таблица 10.4. Результаты расчетов пленок

Наименование данных, полученных при расчетах	Наименование пленок и номера образцов									
	Полиэтиленовая									
	Лавсановая									
Предел прочности при растяжении $R, \text{МПа}$	15,2 743,9	13,7 178,7	12,0 211,5	11,7 193,1	9,2 206,9	10,3 195,1	10,8 218,5	10,4 215,8	9,8 181,3	9,7 193,2
Абсолютное удлинение $\Delta l, \text{мм}$	300 90	290 100	295 120	300 115	400 140	420 98	470 140	440 130	400 150	390 170
Относительное удлинение $\delta, \%$	300 90	290 100	295 120	300 115	400 140	420 98	470 140	440 130	400 150	390 170

Пример 10.5. Определить коэффициент взаимозаменяемости различных деталей из полиамида вместо деталей из стали. Коэффициент взаимозаменяемости пластмасс показывает, какое количество материалов может быть высвобождено при использовании 1 т полимерных материалов.

Решение: Коэффициент взаимозаменяемости определяется по формуле

$$K_n = \frac{m_n}{m_n} \cdot \frac{C_n}{C_n} \cdot \frac{КПИ_n}{КПИ_n},$$

где m_n — вес изделия из заменяемого металла; m_n — вес изделия из полимерных материалов; C_n — срок службы изделия из заменяемого материала; C_n — срок службы изделия из полимерных материалов; $КПИ_n$ — коэффициент полезного использования полимерных материалов с учетом отхода сырья, обычно 5–10 %, таким образом, $КПИ_n$ колеблется в пределах 0,9–0,95; $КПИ_n$ — коэффициент полезного использования заменяемого материала, обычно принимаемого в пределах 0,55–0,65.

В рассматриваемом примере деталь изготавливается из полиамида и имеет массу в пять раз меньше стальной, так как истинная плотность стали 7,8, а полиамида — 1,55, коэффициент использования полиамида 0,9 против 0,6 у стали. Срок службы полиамидной втулки на 15 % меньше срока службы стальной втулки.

Тогда

$$K_n = \frac{7800}{1550} \cdot \frac{0,85}{1} \cdot \frac{0,9}{0,6} = \frac{5967}{930} = 6,4.$$

Следовательно, 1 т полиамида заменяет 6,4 т стали. Исходя из этого ведут все дальнейшие расчеты экономической эффективности (снижения капитальных затрат, себестоимости и др.).

Пример 10.6. При испытании прочности пластмассы на статический изгиб получены результаты, приведенные в первых трех графах табл. 10.5. Определить предел прочности пластмассы при изгибе, осуществив статическую обработку результатов. Длина каждого из 16 образцов 120 мм, расстояние между опорами 80 мм.

Таблица 10.5. Результаты испытаний

Размеры образцов, мм		Разрушающее усилие, Н	Предел прочности при изгибе $R, \text{МПа}$
ширина	толщина		
9,5	4,0	1530	124
9,5	4,0	1510	119
10,0	3,8	1540	128
10,0	3,8	1520	126
10,0	3,8	1560	130
9,5	3,9	1500	124
10,5	4,1	1530	104
10,5	4,1	1550	105
10,0	4,2	1580	108
10,0	3,9	1540	121
9,5	4,0	1560	123
9,5	4,0	1510	119
10,5	3,9	1480	111
10,0	4,1	1570	113
10,0	4,2	1540	104
10,0	4,2	1620	110

Решение: Предел прочности пластмассы при статическом изгибе рассчитывают по формуле

$$R_{изг} = \frac{3PL}{2bh^2},$$

где P — нагрузка, Н; L — расстояние между опорами, мм; b, h — ширина и толщина образца, мм.

Находим предел прочности пластмассы при изгибе по результатам испытания первого образца:

$$R_{изг(1)} = \frac{3 \cdot 1530 \cdot 80}{2 \cdot 9,5 \cdot 4^2} = 124 \text{ МПа}.$$

Результаты для остальных образцов приведены в табл. 10.5 (графа 4).

Если это предусматривается нормативно-технической документацией на материал, определяют характеристику разброса данных, оцениваемую по отклонению отдельных значений, которое вычисляют по ГОСТ 14359-69.

Среднее арифметическое значение показателя σ_i рассчитывают по формуле

$$\sigma_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{изг(i)},$$

где $R_{изг(i)}$ — отдельное значение показателя $R_{изг}$; n — количество отдельных значений определяемого показателя, входящее в расчет.

Имеем

$$\sigma_i = \frac{1866}{16} = 116,62 \text{ МПа.}$$

Стандартное отклонение (среднее квадратичное отклонение)

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_{изг(i)} - \sigma_i)^2} = \sqrt{\frac{1156,22}{15}} = 8,8 \text{ МПа.}$$

Стандартное отклонение среднего значения

$$\bar{S} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{8,8}{\sqrt{16}} = 2,2 \text{ МПа.}$$

Коэффициент вариации среднего значения

$$v = \frac{\bar{S}}{\sigma_i} = \frac{2,2}{116,62} \cdot 100 = 1,89 \text{ \%}.$$

Задачи

10.1. Перечислить известные кремнийорганические соединения. Написать структурную формулу одного из них. Указать, где используются в строительстве эти материалы.

10.2. При испытании пластмасс на изгиб получены результаты, приведенные в табл. 10.6. Определить предел прочности при изгибе, если расстояние между опорами 10 см.

Таблица 10.6. Разрушающие нагрузки

Наименование данных, полученных при испытании образца	Вариант	Пластина и номер образца											
		стеклотекстолит			древесно-волоконная			оргстекло			полистирол		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Толщина, мм	I	10,3	10,2	10,3	7,1	7,0	7,2	11,6	11,4	11,9	16,7	16,6	16,4
	II	10,3	10,4	10,2	7,0	7,0	7,2	11,4	11,9	11,7	16,6	16,7	16,3
	III	10,5	10,3	10,3	7,1	7,2	7,3	11,3	11,7	11,8	16,3	16,7	16,4
Ширина, мм	I	15	14,9	15,1	15	15,1	15	15,1	15	14,9	14,3	14,4	14,4
	II	15	14,8	14,9	15	14,9	15,2	14,9	14,9	15,1	14,4	14,2	14,5
	III	15	15,1	14,8	14,9	15	15,1	14,9	14,9	15	14,3	14,9	14,6
Разрушающее усилие, кН	I	1,25	1,28	1,31	1,40	1,45	1,44	1,50	1,59	1,57	0,95	0,97	1,00
	II	1,35	1,28	1,32	1,43	1,45	1,46	1,56	1,54	1,59	1,02	0,94	0,93
	III	1,25	1,30	1,30	1,42	1,44	1,43	1,61	1,60	1,63	1,03	0,98	0,95
											винипласт ПВХ		
											1	2	3
											9,5	9,4	9,5
											9,3	9,4	9,7
											9,6	9,7	9,5
											10,7	10,4	10,5
											10,3	10,6	10,4
											10,7	10,5	10,6

10.3. Образцы из дерева волокнистой плиты выдерживались в воде. Прочность на изгиб до выдерживания в воде составила 200 МПа. После увлажнения через 5 суток — 60 МПа, через 10 суток — 41,8 МПа, через 15 суток — 48,8 МПа, через 20 суток — 49 МПа, через 25 суток — 49 МПа.

Определить коэффициент водостойкости. Построить график зависимости прочности ДВП от длительности пребывания в воде.

10.4. При строительстве жилого поселка по проекту запланировано использовать 500 м труб диаметром 40 мм из углеродистой стали на рабочее давление 0,4 МПа. Определить коэффициент взаимозаменяемости стальных труб трубами из полиамида но то же рабочее давление и того же диаметра. Масса 1000 м стальных труб 4,8 т, а труб из полиамида — 0,9 т. Срок службы труб из полиамида в пять раз больше, чем стальных, КПИ по металлам — 0,5, а по полимерам — 0,92.

10.5. Подсчитать модуль упругости при растяжении образца пластмасс. Испытано пять образцов сечением 0,5 × 2,5 см. Каждый образец подвергался шестикратному нагружению и разгрузке при скоростях 40–50 кг/мин. Снимаемые по тензометру отсчеты деформаций приведены в табл. 10.7. Для начальной и конечной нагрузок базу тензометра принять 2 см. Начальная нагрузка 100 кг; последующие нагрузки увеличивались: каждая на 100 кг до максимальной 600 кг, составляющей 70 % от разгружающей.

Таблица 10.7. Приращение деформации для образцов

Номер цикла нагружения — разгрузки	Приращение деформации для образцов, мм				
	1	2	3	4	5
I	0,08	0,083	0,087	0,08	0,084
II	0,079	0,082	0,085	0,078	0,080
III	0,078	0,080	0,08	0,077	0,078
IV	0,077	0,079	0,077	0,073	0,078
V	0,073	0,076	0,075	0,070	0,076
VI	0,07	0,074	0,07	0,070	0,07

10.6. При испытании прочности пластмассы на статический изгиб получены результаты, приведенные в табл. 10.8. Длина каждого из 16 образцов 1120 мм. Найти предел прочности пластмассы при изгибе после проведения статической обработки результатов.

Таблица 10.8. Результаты испытаний

Размеры образцов, мм		Разрушающее усилие, Н
ширина	толщина	
14,5	5,9	272
14,5	5,9	276
14,5	6,2	284
14,7	6,0	280
14,7	5,8	276
15,0	6,1	282
15,0	6,1	285
15,0	6,0	288
15,2	6,0	290
15,2	5,8	284
15,2	5,8	288
15,3	5,9	292
15,3	5,9	295
15,5	6,0	298
15,5	6,2	296
15,5	6,1	300

10.7. Исследование прочности склейки фанеры с деревом в клефанерной конструкции под нагрузку 60 т после 10 лет эксплуатации позволило получить данные, приведенные в табл. 10.9. Определить средний предел прочности клеевого шва. Установить количественную сторону старения клеевого шва (процент снижения прочности), принимая первоначальную прочность в 60 кг/см².

Таблица 10.9. Исследование прочности склейки фанеры

№ образца	Размеры клеевого шва, мм		Разрушающее усилие, Н
	ширина	высота	
1	48,1	50,6	1445
2	48,0	50,2	1385
3	49,3	49,3	1590
4	48,1	50,7	1360
5	48,6	51,0	1240
6	48,0	50,1	1140
7	49,0	50,5	950
8	48,0	51,3	1235
9	48,2	50,7	1440
10	49,0	50,4	1370
11	49,1	51,2	1500
12	49,0	50,9	1300
13	48,9	51,8	1290
14	48,4	51,9	1200
15	48,2	50,8	1000
16	48,0	50,7	1250

10.8. Древесностружечные плиты с исходной влажностью 5,4 % исследовались на водопоглощение (табл. 10.10).

Таблица 10.10. Исследование водопоглощения ДСП

Наименование	Сроки испытаний через сутки							
	1	2	4	6	10	25	50	80
Влажность, %	14,7	22,5	27,9	36,0	44,0	50,0	53,0	53,2

Построить график зависимости влажности от времени пребывания плит в воде. При построении графика обратить внимание на выбор масштабов.

11. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Защита зданий и сооружений от воздействия атмосферных осадков, окружающей среды, напорных и безнапорных вод является важным вопросом в строительстве. Во всех этих случаях основную роль играют гидроизоляционные и кровельные материалы, которые определяют долговечность зданий и сооружений. Гидроизоляционные и кровельные материалы подразделяют на эмульсии, пасты, мастики, эластичные герметизирующие прокладки, рулонные, листовые, плиточные и пленочные материалы. В зависимости от входящих в состав гидроизоляционных и кровельных материалов вяжущих веществ подразделяют на битумные, дегтевые, дегтебитумные, битумно-резиновые, полимерные, полимерно-битумные и др.

Качество рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов оценивают по внешнему виду, гибкости, растяжимости, водонепроницаемости и водопоглощению, температуростойчивости, свойствам посыпки пропиточного и кровельного составов, прочности сцепления крупнозернистой насыпки с кровельным слоем, цветостойкости посыпки.

Нижеприведенные примеры и задачи и их решения могут оказать помощь в определении таких свойств.

Примеры

Пример 11.1. Найти относительное разрывное удлинение (растяжимость) гидроизола, если длина рабочей части образца в момент разрыва составила $l_p = 301$ мм. Установить ориентировочно марку гидроизола.

Решение: Относительное разрывное удлинение рулонного кровельного или гидроизоляционного материала рассчитывают по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{175} \cdot 100,$$

где Δl — приращение рабочей длины образца в момент разрыва; 175 — рабочая длина образца перед испытанием, мм.

В данной задаче

$$\varepsilon = \frac{301 - 175}{175} 100 = 72 \, \%.$$

Бризол, относительное удлинение которого не меньше 72 %, по ГОСТ 7415-86 имеет марку ГИ-Г (гидроизол повышенной водонепроницаемости).

Пример 11.2. Вычислить поверхностную плотность кровного состава на нижней и лицевой сторонах рубероида с пылевидной посыпкой, если масса образца размерами 50x100 мм после удаления пылевидной посыпки составляет $m_1 = 8,6$ г, масса образца после снятия кровного состава с нижней стороны образца $m_2 = 7,5$ г, масса образца после удаления кровного состава с нижней и лицевой сторон образца $m_3 = 3,25$ г. Определить ориентировочно марку рубероида.

Решение: Для материалов с пылевидной посыпкой исходя из ГОСТ 2678-94 используем следующую формулу для вычисления поверхностной плотности кровного состава с нижней стороны образца:

$$\Pi_{н1} = (m_1 - m_2) \cdot 200,$$

где m_1 — масса образца с кровным составом, г; m_2 — масса образца после снятия кровного состава с нижней стороны, г; 200 — переводный коэффициент для перехода от $0,005 \text{ м}^2$ к 1 м^2 . Таким образом,

$$\Pi_{н1} = (8,6 - 7,5)200 = 220 \text{ г/м}^2.$$

Поверхностную плотность кровного состава с лицевой стороны образца вычисляем по формуле

$$\Pi_{л2} = (m_2 - m_3)200,$$

где m_2 — масса образца после снятия кровного состава с нижней и лицевой сторон, г.

Отсюда

$$\Pi_{л2} = (7,5 - 3,25) \cdot 200 = 4,25 \cdot 200 = 850 \text{ г/м}^2.$$

Рубероид с пылевидной посыпкой, у которого поверхностная плотность кровного состава не меньше 200 г/м^2 с нижней стороны и не меньше 800 г/м^2 с верхней (лицевой) стороны, согласно ГОСТ 10923-82 имеет марку РКП-350 Б.

Пример 11.3. Определить поверхностную плотность кровного состава на нижней и лицевой сторонах рубероида с крупнозернистой посыпкой, если масса образца размерами 50x100 мм составляет $m_1 = 15,7$ г, масса образца после удаления кровного состава с нижней стороны образца $m_2 = 14,55$ г. Масса кровного состава и посыпки с гильзой до экстрагирования $m_{д3} = 9,9$ г; то же после экстрагирования $m_{н3} = 4,65$ г. Растворимость битума в бензоле 98 %; содержание наполнителя в кровном составе 21 %. Установить ориентировочно марку рубероида, рассчитав кровный состав нижней и лицевой сторон.

Решение: Для вычисления поверхностной плотности кровного состава с нижней стороны рулонного материала пользуемся той же формулой, что и в случае применения материала с пылевидной посыпкой:

$$\begin{aligned} \Pi_{н1} &= (m_1 - m_2) \cdot 200 = (15,7 - 14,55) \cdot 200 = \\ &= 1,15 \cdot 200 = 230 \text{ г/м}^2. \end{aligned}$$

Поверхностную плотность кровного состава с лицевой стороны образца находим из выражения

$$\Pi_{л2} = \frac{200 \cdot 10^4 m}{D(100 - N)},$$

где m — масса растворимого остатка с лицевой стороны, приходящаяся на образец размерами 50×100 мм, г/м²; D — растворимость битума в бензоле, %; N — содержание наполнителя в кровном составе, %. Значение m определяют по формуле

$$m = m_{д3} - m_{н3},$$

где $m_{д3}$ — масса кровного состава и посыпки с гильзой до экстрагирования, г; $m_{н3}$ — то же после экстрагирования, г.

Таким образом,

$$m = 9,9 - 4,65 = 5,25 \text{ г/м}^2.$$

Тогда

$$\Pi_{\text{пз}} = \frac{200 \cdot 10^4 \cdot 5,25}{98(100 - 21)} = \frac{1050 \cdot 10^4}{7850} = 1356,2 \text{ г/м}^2.$$

Рубероид с крупнозернистой посыпкой, у которого поверхностная плотность покровного состава с нижней стороны не меньше 200 г/м^2 , а с верхней (лицевой) стороны не меньше 1000 г/м^2 , согласно ГОСТ 10923-82 имеет марку РКК-420А.

Задачи

11.1. Найти относительное разрывное удлинение (растяжимость) изола, если длина рабочей части образца в момент разрыва составила 305 мм. Назвать ориентировочно марку изола.

11.2. Вычислить поверхностную плотность покровного состава рубероида с пылевидной посыпкой с нижней и лицевой сторон рулона, если масса образца размерами 50×100 мм после удаления посыпки составляет 8,07 г, масса образца после снятия покровного состава с нижней стороны образца — 5,92 г, масса образца после удаления покровного состава с нижней и лицевой сторон образца — 3,67 г. Какова (ориентировочно) марка рубероида, судя по покровному составу нижней и лицевой сторон?

11.3. Найти поверхностную плотность покровного состава с нижней и лицевой сторон рубероида с крупнозернистой посыпкой, если масса образца размером 50×100 мм составляет 14,75 г. Масса образца после удаления покровного состава с нижней стороны образца — 13,7 г, после снятия покровного состава с нижней и лицевой сторон образца — 4,85 г. Масса покровного состава и посыпки с гильзой до экстрагирования — 8,85 г, а после экстрагирования — 4,7 г. Растворимость битума в бензоле — 97 %, содержание наполнителя в покровном составе — 22 %. Каковы покровные составы нижней и лицевой сторон? Дать предварительное заключение о марке рубероида.

11.4. Определить водопоглощение рубероида по результатам испытания стандартного образца размерами 100×100 мм: масса образца до испытания — 14,80 г, после одноминутной выдержки в воде — 14,9 г, после суточной выдержки в воде — 15,25 г. Соответствует ли рубероид техническим требованиям по водопоглощению?

12. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лакокрасочные материалы — это составы, наносимые в жидком виде на окрашиваемые поверхности тонким слоем и образующие после высыхания твердую пленку, которая прочно сцепляется с поверхностями. Назначение этих материалов состоит в предохранении конструкций от разрушения и придании их поверхности декоративных качеств.

Лакокрасочное покрытие должно обладать достаточной адгезией к окрашиваемой поверхности. Оно состоит из нескольких тонких слоев: грунтовочного, который служит для заполнения капилляров основания, чтобы сделать его более однородным; подмазочных слоев для заполнения углублений на окрашиваемой поверхности; шпатлевочного — для выравнивания поверхности; одного или нескольких красочных слоев; покровного слоя, защищающего красочные слои.

Для каждого слоя применяются составы, обладающие разными свойствами.

В состав лакокрасочных материалов входят связующие (пленкообразующие) вещества, пигменты, наполнители, пластификаторы, растворители, сиккативы, добавки.

В строительной практике весьма часто возникает потребность получить различные виды красок заданных свойств. Для этого необходимо уметь рассчитывать состав такой краски (лака, шпатлевки), т. е. дозировку каждого компонента, в чем и могут оказать помощь предлагаемые примеры и задачи и их решения.

Пример 12.1. Изготовленная из титановых белил и натуральной олифы краска содержит 45 % олифы. На укрывание стеклянной пластинки площадью $F = 200 \text{ см}^2$ с двухцветным грунтом израсходовано $a = 3 \text{ г}$ этой краски. Определить укрывистость окрашиваемой поверхности.

Решение: Укрывистость для краски малярной консистенции определяется по формуле

$$Y = \frac{a}{F} \cdot 100,$$

где a — количество состава малярной консистенции, израсходованного на укрывание стеклянной пластинки, г; F — укрываемая площадь пластинки, см².

Для данного случая укрывистость титановых белил будет

$$Y = \frac{3}{200} \cdot 100 = 150 \text{ г/м}^2.$$

Укрывистость титановых белил, считая на сухой пигмент:

$$Y = \frac{a(100 - b)}{F} \cdot 100 = \frac{3(100 - 45)}{200} \cdot 100 = 82,5 \text{ г/м}^2,$$

где b — процент олифы в составе малярной консистенции.

Пример 12.2. Определить маслосъемкость пигментов: титановых белил и ламповой сажи. При испытании в лаборатории количество льняного масла для полного смачивания $m = 5$ г пигмента и образования сплошного комка пошло масла в первом случае $a_1 = 0,35$ мл, а во втором случае $a_2 = 1,5$ мл. Истинная плотность льняного масла $\rho_{\text{л}} = 0,93$.

Решение: Маслосъемкость пигмента вычисляется по формуле

$$M = \frac{100a\rho_{\text{л}}}{m},$$

где a — количество масла, необходимое для насыщения пигмента, мл; $\rho_{\text{л}}$ — истинная плотность масла, равная 0,93 г/см³; m — навеска пигмента, $m = 5$ г.

Для титановых белил

$$M = \frac{100 \cdot 0,35 \cdot 0,93}{5} = 6,51 \text{ мл/г};$$

для ламповой сажи

$$M = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 0,93}{5} = 27,8 \text{ мл/г}.$$

Пример 12.3. Сколько из 1 кг густотертой масляной краски желтого цвета можно приготовить краски для нанесения на оштукатуренную поверхность? Охра густотертая требует разведения олифой в количестве 40 % от массы густотертой краски, чтобы получить готовую к употреблению краску. Укрывистость готовой к употреблению краски $Y = 180 \text{ г/м}^2$.

Решение: Из 1 кг густотертой желтой краски получим готовой к употреблению 1,4 кг (1 кг густотертой желтой краски + 0,4 кг олифы).

Этим количеством готовой к употреблению краски можно окрасить:

$$F = m_{\text{г}} \cdot Y = 1400 \cdot 180 = 7,7 \text{ м}^2.$$

Пример 12.4. Приготовить $m_{\text{ш}} = 3$ кг масляной шпатлевки по следующему рецепту: 18 % олифы-оксоль; 2 % клея животного; 70,4 % мела сухого молотого; 0,8 % мыла хозяйственного; 0,8 % сиккатива и 8 % воды (все компоненты взяты по массе).

Решение: Шпатлевка масляная будет состоять (по массе) из следующего количества компонентов:

$$\text{олифа-оксоль } O = \frac{18 \cdot 3000}{100} = 540 \text{ г};$$

$$\text{клей животный сухой } K = \frac{2 \cdot 3000}{100} = 60 \text{ г};$$

$$\text{мел сухой молотый } M_{\text{с}} = \frac{70,4 \cdot 3000}{100} = 2112 \text{ г};$$

$$\text{мыло хозяйственное } M_{\text{х}} = \frac{0,8 \cdot 3000}{100} = 24 \text{ г};$$

$$\text{сиккатив } C = \frac{0,8 \cdot 3000}{100} = 24 \text{ г};$$

$$\text{вода } B = \frac{8 \cdot 3000}{100} = 240 \text{ г}.$$

Всего МШ = 3000 г.

Пример 12.5. Приготовить светлый масляный лак для отделки в количестве $m_{\text{л}} = 75$ кг следующего состава, %:

льняное масло — 48,13;
 древесное масло — 5,35;
 эфир гарпиуса — 6,42;
 уайт-спирит — 37,43;
 кобальтовый сиккатив — 2,67.

Решение: Количество материалов для 75 кг лака должно быть:

$$\text{льняного масла ЛМ} = \frac{75 \cdot 48,13}{100} = 36,1 \text{ кг};$$

$$\text{древесного масла ДМ} = \frac{75 \cdot 5,35}{100} = 4,0 \text{ кг};$$

$$\text{эфира гарпиуса ЭГ} = \frac{75 \cdot 6,42}{100} = 4,8 \text{ кг};$$

$$\text{уайт-спирита УС} = \frac{75 \cdot 37,43}{100} = 28,1 \text{ кг};$$

$$\text{кобальтового сиккатива КС} = \frac{75 \cdot 2,67}{100} = 2,0 \text{ кг}.$$

Пример 12.6. Какое количество спирта (в кг и л) требуется для приготовления $m_n = 25$ кг светлой политуры? Политура готовится по следующему рецепту, %: спирт — 89,9; шеллак — 11,1. Истинная плотность спирта $\rho_{\text{ис}} = 0,95$ кг/дм³.

Решение: Для приготовления политуры в количестве 25 кг необходимо спирта:

$$C = \frac{m_n \cdot 89,9}{100} = \frac{25 \cdot 89,9}{100} = 22,5 \text{ кг или } \frac{22,5}{0,95} = 23,7 \text{ л}.$$

Пример 12.7. Подсчитать количество материалов для приготовления $m_{\text{з.к}} = 10$ кг цементной зеленой краски для покрытия бетонной поверхности. Рецепт этой краски следующий (в весовых частях):

белый портландцемент — 69,0;
 известь-пушонка — 15,0;
 зеленый пигмент — 10,0;
 стеарат кальция — 01,0;
 хлористый кальций — 03,0;
 микроасбест — 02,0;
 песок — 30 % (от массы сухой смеси).

Решение: 10 кг краски состоит из 30 % песка и 70 % красочного состава. В 10 кг сухой краски будет 3,0 кг песка и 7,0 кг красочного состава.

$$\text{Тогда белого портландцемента ПБ} = \frac{69 \cdot 7}{100} = 4,83 \text{ кг};$$

$$\text{извести-пушонки ИП} = \frac{15 \cdot 7}{100} = 1,05 \text{ кг};$$

$$\text{зеленого пигмента Пз} = \frac{10 \cdot 7}{100} = 0,70 \text{ кг};$$

$$\text{стеарата кальция Кс} = \frac{1 \cdot 7}{100} = 0,07 \text{ кг};$$

$$\text{хлористого кальция Кх} = \frac{3 \cdot 7}{100} = 0,210 \text{ кг};$$

$$\text{микроасбеста А} = \frac{2 \cdot 7}{100} = 0,140 \text{ кг}.$$

Пример 12.8. Сколько требуется материалов и керосина в растворителе для приготовления $m_k = 20$ кг краски на основе перхлорвиниловой смолы?

Дан следующий рецепт краски (в весовых частях):

пигментированная эмульсия — 1,8;
 портландцемент белый — 2,0;
 растворитель (4 весовые части сольвента каменноугольного и 1 весовая часть керосина) — 0,4.

Решение: Если состав перхлорвиниловой смолы в весовых частях по массе ПС = ПЭ + ПБ + Р = 1,8 + 2,0 + 0,4 = 4,2 составляет 100 %, тогда пигментированной эмульсии потребуются

$$\text{ПЭ} = \frac{1,8 \cdot 100}{4,2} = 42,86 \% \text{ или } \frac{42,86 \cdot 20}{100} = 8,57 \text{ кг};$$

белого портландцемента

$$\text{ПБ} = \frac{2 \cdot 100}{4,2} = 47,62 \% \text{ или } \frac{47,62 \cdot 20}{100} = 9,52 \text{ кг};$$

растворителя

$$P = \frac{0,4 \cdot 100}{4,2} = 9,52 \% \text{ или } \frac{9,52 \cdot 20}{100} = 1,904 \text{ кг;}$$

$$\text{керосина в растворителе } K_p = \frac{P}{5} = \frac{1,904}{5} = 0,381 \text{ кг.}$$

Задачи

12.1. Определить маслосъемкость титановых белил и ламповой сажи по следующим результатам лабораторных испытаний: на полное смачивание 5 г титановых белил и образование из их смеси с олифой сплошного комка затрачено 0,34 мл олифы; на то же с 5 г сажи затрачено 1,6 мл олифы. Плотность олифы 940 кг/м³.

12.2. Какова маслосъемкость охры как пигмента масляной краски, если на полное смачивание 5 г охры и образование из ее смеси с олифой сплошного комка затрачено 1,1 мл олифы? Плотность олифы 930 кг/м³.

12.3. Найти укрывистость титановых белил, если они входят в состав масляной краски с 42 % олифы и на укрывание стеклянной пластины площадью 200 см² с двухцветным грунтом израсходовано 2,8 г этой краски.

12.4. Установить укрывистость литопоновых белил, входящих в состав масляной краски с 44 % олифы. На укрывание стеклянной пластины площадью 200 см² с двухцветным грунтом затрачено 4,5 г краски.

12.5. Сколько можно приготовить зеленой масляной краски малярной консистенции из 11 кг густотертой краски (с оксидом хрома), если к последней добавляется 38 % олифы? Какую площадь поверхности можно окрасить при укрывистости полученного состава 0,165 кг/м²?

12.6. Найти массу красной масляной краски (годной к употреблению), полученной из 4 кг густотертой краски со свинцовым суриком. Для образования малярной консистенции требуется к густотертой краске добавить 40 % олифы. Установить площадь поверхности, которую можно окрасить, если укрывистость равна 0,175 кг/м².

12.7. Подсчитать количество каучукового лака и количество материалов для этого лака, необходимых для приготовления 200 кг огнестойкой краски. Пигментов и специальных наполнителей в краске находится 57 %.

Пигменты и наполнители следующие: титановые белила, крахмал, фосфорнокислый аммоний, глицерин. Каучукового лака должно быть 43 % и рецепт этого лака следующий (в весовых частях):

хлорированный каучук	— 121;
хлорированный парафин	— 50;
алкидная олифа	— 104;
нефтяной сольвент	— 287;
всего	— 562.

12.8. Каков количество материалов необходимо для приготовления 50 кг битумной краски красно-коричневого цвета?

Рецепт краски следующий, %:

крас лимонный	— 20,4;
сурик железный	— 40,8;
толуидин красный	— 4,8;
раствор битума в уайт-спирите	— 30,9;
уайт-спирит	— 3,1.

Битума растворено в уайт-спирите 30 %.

12.9. Сколько можно приготовить масляной краски, годной к употреблению, из 3 кг густотертой масляной краски с титановыми белилами, если для получения малярной консистенции нужно добавить 35 % олифы? Какую площадь поверхности можно окрасить полученной краской при ее укрывистости 0,15 кг/м²?

12.10. Приготовить 160 кг битумного лака по следующему рецепту, %:

битум грозненский	— 18,18;
гудрон	— 22,75;
канифоль	— 18,18;
уайт-спирит	— 40,91.

12.11. Рассчитать количество материалов для приготовления 10 кг краски на основе поливинилацетатной смолы. Рецепт краски следующий (в весовых частях):

пигментированная эмульсия	— 1,2;
белый портландцемент	— 4,2;
известь-пушонка	— 0,9;
молотый песок	— 3,0;
микроасбест	— 0,2;
стеарат кальция	— 0,05.

13. МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

Металлами называют вещества, характерными свойствами которых являются высокая прочность, пластичность, тепло- и электропроводность, особый блеск, называемый металлическим.

Металлические элементы составляют почти 3/4 всех существующих в природе элементов, но не все находят широкое применение в строительстве. Некоторые из них встречаются очень редко. Из наиболее ценных и важных для техники и строительства металлов лишь немногие содержатся в земной коре в больших количествах: алюминий, железо, магний, титан и др.

В водохозяйственном строительстве металлы применяются в виде металлопроката и металлических изделий. Металлопрокат используют при строительстве насосных станций, водопроводящих сооружений, производственных зданий, изготовлении различного типа металлических затворов.

При решении задач по металлам необходимо знать, что процессы деформации металлов в рабочем диапазоне напряжений подчиняются закону Гука и правилу Жуковского. Важнейшее условие правильного решения задач — приведение исходных величин к одной системе единиц и тщательный учет переходных коэффициентов. Следует помнить, что твердость материалов по Бринеллю H_B и нормирующий для сталей и сплавов предел временного сопротивления $R_{вс}$ связаны между собой, что позволяет по показателям твердости определять прочностные свойства материала. Значительная часть задач по металлам требует обращения к справочным данным, таблицам ГОСТов и СТБ, что и учтено в этом разделе.

Примеры

Пример 13.1. В чем сущность наименования: спокойная, кипящая и полуспокойная сталь?

Решение: Спокойная сталь, если раскисление проведено до конца и застывание металла происходит без выделения газа, в слитке имеет плотное и однородное строение.

Кипящая сталь получается при неполном раскислении жидкого металла. Часть газа остается в слитке, образуя газовые пузыри. Стойкость кипящей стали на 20–25 % ниже, чем спокойной.

Полуспокойная сталь занимает промежуточное место между спокойной и кипящей сталями.

Пример 13.2. При испытании на растяжение образец стали диаметром $d = 15$ мм и расчетной длиной $l = 150$ мм разрушился при усилии $P_p = 68$ кН, текучесть образца была отмечена при $P_m = 40$ кН. Длина рабочей части образца после разрыва оказалась равной $l_1 = 191$ мм, а диаметр шейки $d' = 9,75$ мм. Определить марку стали.

Решение: Определим предел текучести по формуле

$$R_T = \frac{P_T}{F_0} = \frac{P_T}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4000}{\frac{3,14 \cdot 15^2}{4}} = 22,8 \text{ кг/мм}^2 = 228,0 \text{ МПа,}$$

где P_T — нагрузка, при которой наблюдается текучесть образца, кг; F_0 — площадь образца, мм².

Предел прочности при растяжении

$$R_p = \frac{P_p}{F_0} = \frac{6800}{\frac{3,14 \cdot 15^2}{4}} = 38,5 \text{ кг/мм}^2 = 385,0 \text{ МПа.}$$

Относительное удлинение

$$\delta = \frac{l_1 - l}{l} \cdot 100 = \frac{191 - 150}{150} \cdot 100 = 27,3 \, \%.$$

Относительное сужение

$$\psi = 100 - \frac{d' \cdot 100}{d} = 100 - \frac{9,75 \cdot 100}{15} = 35 \, \%.$$

Тогда согласно ГОСТ 380–60 определим, что данная сталь соответствует марке Ст.3.

Пример 13.3. Железоуглеродистый сплав содержит углерода 0,27 %. Определить содержание в нем перлита и цементита.

Решение: Для определения процентного содержания перлита и цементита в железоуглеродистом сплаве исходят из того, что при содержании в сплаве углерода 0,83 % перлита в нем будет 100 %, а при содержании в сплаве углерода 6,67 % цементита в нем будет 100 %. Таким образом, в данной задаче для определения перлита и цементита достаточно составить пропорции

$$0,83 \% \text{ C} - 100 \% \text{ П},$$

$$0,27 \% \text{ C} - x\text{П}.$$

$$\text{Тогда перлита } x\text{П} = \frac{100 \cdot 0,27}{0,83} = 38 \ \%.$$

$$6,67 \% \text{ C} - 100 \% \text{ Ц},$$

$$0,27 \% \text{ C} - x\text{Ц}.$$

$$\text{Цементита } x\text{Ц} = \frac{100 \cdot 0,27}{6,67} = 5,7 \ \%.$$

Пример 13.4. Для предварительного напряжения стержень арматуры из стали Ст.5 нагревается электрическим током. Определить требуемое удлинение стержня от первоначальной длины $l_0 = 2,5$ м до создания в нем напряжения, равного 85 % предела текучести.

Решение: Величину требуемого удлинения стержня при нагревании определяют по формуле

$$\Delta l = \frac{\sigma_0}{E} l_0,$$

где σ_0 — контролируемое предварительное напряжение в стержне, МПа; l_0 — начальная длина стержня, см; E — модуль упругости арматурной стали, для Ст.5 $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

Для возмещения потерь при обжатии добавляют 10–20 % от требуемого удлинения.

Для марки стали Ст.5 предел текучести составляет 260 МПа.

Тогда требуемое удлинение

$$\Delta l = \frac{\sigma_0 l_0}{E} = \frac{221 \cdot 250}{210\,000} = 0,26 \text{ см};$$

$$\sigma_0 = 260,0 \cdot 0,85 = 221,0 \text{ МПа}.$$

Пример 13.5. В полевых условиях проведено испытание арматурной стали на твердость переносным твердомером Полюди. С помощью эталона из стали марки Ст.3 по арматуре было сделано 10 ударов молотком через боек твердомера. Полученные значения отпечатков на металле и эталоне приведены в табл. 13.1.

Определить марку стали.

Таблица 13.1. Данные испытаний

Наименование	Номер отпечатков									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр отпечатков, мм:										
на эталоне;	3,6	3,7	3,6	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7	3,6	3,7
на металле	3,0	3,1	3,1	3,0	3,1	2,9	3,1	3,0	2,9	3,0

Решение: Твердость испытуемого металла определяют по формуле

$$HB_n = HB_{\text{э}} \cdot \frac{d_{\text{э}}}{d_n} = 133 \cdot \frac{3,61}{3,05} = 157,4 \text{ кг/мм}^2,$$

где $HB_{\text{э}}$ — твердость эталона для стали марки Ст. 3 — 133 кг/мм²; $d_{\text{э}}$ — средний диаметр отпечатка на эталоне, мм; d_n — средний диаметр отпечатка на испытуемом металле, мм.

Прочность при растяжении $R_p = 0,36 \cdot HB_n = 0,36 \cdot 157,4 = 56,7 \text{ кг/мм}^2 = 567 \text{ МПа}.$

Марка стали Ст.5.

Пример 13.6. Для разрушения на маятниковом копре стандартного образца стали сечением 1,0 × 1,0 см и длиной 5,5 см была затрачена работа $A = 12,21 \text{ кг} \cdot \text{м}$. Удар произведен по надрезу в образце, глубина которого 0,2 см. Определить удельную ударную вязкость стали.

Решение: Удельную ударную вязкость a_n определяют по формуле

$$a_n = \frac{A}{F_n} = \frac{12,21}{0,8 \cdot 1} = 15,2 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{см}^2,$$

где A — работа, затраченная на разрушение образца, кг·м; F_n — площадь поперечного сечения образца в месте надреза, см².

Пример 13.7. Образец углеродистой стали испытывался на твердость на прессе Бринелля шариком 10 мм под нагрузкой $P = 30$ кН. Получены три отпечатка с диаметрами соответственно 5,09; 5,15; 5,12 мм. Определить предел прочности стали при растяжении и марку стали.

Решение: Среднее значение отпечатков $d_{cp} = 5,12$ мм. Число твердости по Бринеллю определяют по формуле

$$HB = \frac{P}{F} \text{ кг} / \text{мм}^2,$$

где P — нагрузка, кг; F — площадь отпечатка, мм².

В данной задаче $F = 22 \text{ мм}^2$, а твердость $HB = \frac{3000}{22} = 136 \text{ кг} / \text{мм}^2$.

Зная эмпирическую зависимость прочности при растяжении от его твердости металла по Бринеллю, вычисляем предел прочности при растяжении. Для данного случая предел прочности при растяжении составит

$$R_p = 0,36 \cdot HB = 0,36 \cdot 136 = 48 \text{ кг} / \text{мм}^2 (480 \text{ МПа}).$$

Марка стали по ГОСТ 380–60 Ст.3.

Пример 13.8. Определить диаметр электрода для ручной сварки металла толщиной 4, 8, 12 и 24 мм.

Решение: Диаметр электрода выбирается по формуле

$$d = \frac{S}{2} + 1,$$

где S — толщина свариваемого металла, мм; d — диаметр электрода (не больше 12 мм).

Данные расчетов приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2. Диаметры электродов

Толщина металла, мм	4	8	12	24
Диаметр электрода, мм	3	5	7	12

Пример 13.9. Определить необходимое количество электродов с диаметром $d = 3$ мм и длиной $l = 350$ мм для сварки изделий с общей длиной швов $l_{ш} = 250$ см и поперечным сечением шва $F_{ш} = 1,5 \text{ см}^2$, истинная плотность металла $\rho_n = 7,8 \text{ г} / \text{см}^3$. При расчете учесть потери на огарки, угар и разбрызгивание металла в размере 25 %.

Решение: При решении задачи следует воспользоваться формулой

$$m_n = F_{ш} \cdot l_{ш} \cdot \rho_n,$$

где m_n — масса наплавленного металла, г; $l_{ш}$ — длина шва, см; $F_{ш}$ — площадь поперечного сечения шва, см²; ρ_n — истинная плотность металла, г/см³.

Тогда

$$m_n = 1,5 \cdot 250 \cdot 7,8 = 2925 \text{ г или } 2,9 \text{ кг}.$$

Масса одного электрода будет равна

$$m_s = \frac{\pi d}{4} \cdot l \cdot \rho_n = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \cdot 35 \cdot 7,8 = 19,3 \text{ г},$$

где d — диаметр электрода, см; l — длина электрода, см.

Необходимое количество электродов с учетом потерь на огарки, угар и разбрызгивание металла

$$n_s = \frac{m_n}{m_s} \cdot 1,25 = \frac{2925}{19,3} \cdot 1,25 = 189 \text{ шт}.$$

Пример 13.10. Какое количество ацетилена и кислорода израсходовано для сварки строительных конструкций, если известно, что расход карбида кальция составил 40 кг?

Решение: Из справочных данных известно, что из 1 кг карбида кальция образуется 250–300 л ацетилена, а соотношение кислорода к ацетилену принимается 1,1 : 1,2.

Задачи

13.1. При какой нагрузке в растянутом элементе металлической балки появятся остаточные деформации? Балка — форма швеллера № 22 изготовлена из стали марки Ст.3.

13.2. Арматурная сталь испытана на растяжение в образце диаметром 10 мм, длиной 100 мм. После испытания установлены следующие показатели: нагрузка при пределе текучести 75 кН, разрушающая нагрузка 82 кН, длина образца при пределе текучести 105 мм, а после разрыва 115 мм; диаметр образца в шейке после испытания 6,7 мм. Определить предел текучести, предел прочности при растяжении, относительное удлинение, относительное сужение, марку стали, а также вычертить диаграмму растяжения.

13.3. Для разрушения на маятниковом копре стандартного образца стали сечением 1,0 × 1,0 см и длиной 5,5 см была затрачена работа 14,34. Удар произведен по надрезу в образце, глубина которого 0,3 см. Определить удельную вязкость стали.

13.4. По данным микроструктурного анализа установлено, что сталь содержит 60 % перлита. Определить свойства и марку стали.

13.5. Определить усилие для натяжения арматуры до предельно допустимого напряжения. Материал — стержневая сталь 12 мм марки 30ХГС и 18Г2С.

13.6. Рассчитать требуемое удлинение стержня от первоначальной длины 3,0 м до создания в нем напряжения, равного 80 % предела текучести. Сталь марки Ст.4.

13.7. Определить предел прочности стали при растяжении и марку углеродной стали. Образец испытывали на твердость на пресс по Бринеллю шариком с диаметром 10 мм под нагрузкой 95 кН. Получены три отпечатка: с диаметрами 5,12; 5,17 и 5,20 мм.

13.8. Какую твердость по Бринеллю могут иметь углеродные стали Ст.3 и Ст.5, а также хромоникелевая сталь с пределом прочности при растяжении 76 кг/мм²?

13.9. Растянутый элемент металлической балки в форме швеллера № 30 изготовлен из стали марки Ст.3. При какой нагрузке в данном элементе конструкции появятся остаточные деформации?

13.10. Выгодно ли для перекрытия сооружения, рассчитанного на статическую нагрузку, заменить один двутавр № 36 двумя швеллерами?

13.11. При контроле материала сварного шва получены результаты: $HV = 168$ кг/мм², работа деформации 14 кг·м при определении ударной вязкости на стандартных образцах. Определить, соответствует ли данный материал требованиям ТУ, где для данной конструкции указаны следующие требования: предел прочности при растяжении не менее 52 кг/мм², удельная ударная вязкость — более 8 кг·м/см².

Для решения данной задачи использовать указания к примеру 13.6.

13.12. Производится сварка изделий с общей длиной швов 400 см, поперечное сечение шва 1,2 см², истинная плотность металла 7,5. Потери на огарки, угор и разбрызгивание металла в размере 25 %. Определить необходимое количество электродов 3 мм и длиной 350 мм.

13.13. Расход карбида кальция для сварки строительных конструкций составил 30 кг. Какое количество ацетилена и кислорода израсходовано для сварки?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баженов Ю.М.* Технология бетона: Учеб. пособие для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд., перераб. М., 1987. 415 с.
2. *Баженов Ю.М., Комар А.Г.* Технология бетонных и железобетонных изделий: Учебник для вузов. М., 1984. 672 с.
3. *Борисов Г.В.* Производство гидроизоляционных работ: Справочное пособие. Л., 1978. 160 с.
4. *Бурлаков Г.С.* Технология изделий из легкого бетона: Учеб. пособие для вузов по спец. «Производство строительных изделий и конструкций». 2-е изд., перераб. и доп. М., 1986. 216 с.
5. *Воробьев В.А.* Основы технологии строительных материалов из пластических масс: Учебник для строительных вузов. 2-е изд. М., 1975. 290 с.
6. *Горчаков Г.И., Баженов Ю.М.* Строительные материалы: Учебник для вузов. М., 1986. 688 с.
7. Дорожно-строительные материалы: Сборник задач / И.М. Грушко, Н.Ф. Глушенко, А.В. Космин. Харьков, 1987. 96 с.
8. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе. Справочник / Под ред. Ю.П. Горлова. М., 1987. 301 с.
9. *Кухов С.И., Лащенко В.А., Чуйко А.В.* Методическое пособие к решению задач по строительным материалам / Под ред. А.В. Чуйко. Пемза, 1969. 112 с.
10. *Леонович И.И., Шумчик Н.Ф.* Дорожно-строительные материалы: Учебник для вузов. Мн., 1983. 399 с.
11. *Мартинчик А.Б., Шубенкин П.Ф.* Определение свойств и качества строительных материалов в полевых условиях: Справочное пособие. М., Стройиздат, 1983. 119 с.
12. *Мороз И.И.* Технология строительной керамики: Учеб. пособие для вузов. Киев, 1980. 384 с.
13. *Орлов А.А.* Добыча и обработка природного камня. М.: Стройиздат, 1977. 352 с.
14. *Основиц В.Н., Шуляков Л.В.* Гидротехнический бетон: Учеб. пособие для вузов. Горки, 1997. 64 с.
15. *Основиц В.Н., Основина Л.Г., Шуляков Л.В.* Строительные материалы и конструкции: Учеб. пособие для техникумов. Мн.: Ураджай, 2000. 270 с.
16. *Основиц В.Н., Шуляков Л.В., Дубяго Д.С.* Справочник по строительным материалам и изделиям: Ростов н/Д, 2005. 443 с.
17. Примеры и задачи по строительным материалам / Б.Г. Скрамтаев, В.Д. Буров, П.Ф. Шубенкин и др. М., 1970. 230 с.
18. *Рыбьев И.А.* Строительное материаловедение. М., 2003. 700 с.
19. Строительные материалы и изделия: Учеб. пособие / В.Н. Чубуков, В.Н. Основиц, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Мн., 2003. 328 с.
20. Технология железобетонных изделий в примерах и задачах: Учеб. пособие для техникумов по спец. «Производство строительных деталей и железобетонных конструкций» / В.Ф. Афанасьева, Е.Н. Ипполитов, М.С. Поддубная и др.: Под ред. Л.Н. Попова. М., 1987. 192 с.
21. *Хяутин Ю.Г.* Монолитный бетон. Технология производства работ. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1991. 576 с.
22. *Чаус К.В.* и др. Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций. М., 1988. 448 с.
23. *Чубуков В.Н., Основиц В.Н., Шуляков Л.В.* Строительные материалы и изделия: Практикум. Мн., 2000. 240 с.
24. *Шуляков Л.В., Основиц В.Н.* Грунтоведение и строительные материалы: Лабораторный практикум. Горки, 1986. 68 с.
25. ГОСТ 4001-84. Камни стеновые из горных пород. Технические условия.
26. СТБ 4.206-94. Система показателей качества продукции. Строительство. Свойства материалов. Номенклатура показателей.
27. СТБ 1160-99. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
28. СТБ 1184-99. Черепица керамическая. Технические условия.
29. ГОСТ 286-82. Трубы керамические канализационные. Технические условия.
30. СТБ 4.206-95. Система показателей качества продукции. Строительство. Материалы вяжущие. Номенклатура показателей.
31. ГОСТ 9179-77. Известь строительная. Технические условия.
32. СТБ 1285-2001. Породы карбонатные для производства строительной извести. Технические условия.
33. СТБ ЕН 459-2-2002. Известь строительная. Ч. 2. Методы испытания.
34. ГОСТ 125-79. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
35. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
36. ГОСТ 30515-97. Цементы. Общие технические условия.
37. СТБ ЕН 196-1-2000. Методы испытаний цемента. Ч. 1. Определение прочности.
38. СТБ ЕН 196-6-2000. Методы испытаний цемента. Ч. 6. Определение тонкости помола.
39. ГОСТ 24640-91. Добавки для цементов. Классификация.
40. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
41. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.
42. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

43. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы испытаний.
44. СТБ 1217-2000. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия.
45. СТБ 1035-96. Смеси бетонные. Технические условия.
46. СТБ 1310-2002. Бетоны. Классификация. Общие технические требования.
47. СТБ 1112-98. Добавки для бетонов. Общие технические условия.
48. СТБ 1114-98. Вода для бетонов и растворов. Технические условия.
49. СТБ 1182-99. Бетоны. Правила подбора и состава.
50. ГОСТ 10060.0-95. Бетоны. Методы определения морозостойкости.
51. ГОСТ 22690-88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
52. ГОСТ 25485-89. Бетоны ячеистые. Технические условия.
53. ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
54. СТБ 1187-99. Бетоны легкие. Технические условия.
55. ГОСТ 4.233-86. Система показателей качества продукции. Строительство. Номенклатура показателей.
56. СТБ 1307-2002. Смеси растворные и растворы строительные. Технические условия.
57. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний.
58. СТБ 1228-2000. Кирпич и камни силикатные. Технические условия.
59. СТБ 1230-2000. Плиты гипсовые декоративные. Технические условия.
60. ГОСТ 378-87. Листы асбестоцементные волнистые обыкновенного профиля и детали к ним.
61. ГОСТ 8747-88. Изделия асбестоцементные листовые. Методы испытаний.
62. ГОСТ 18124-95. Листы асбестоцементные плоские. Технические условия.
63. СТБ 4.202-98. СПКП. Строительство. Изделия асбестоцементные. Номенклатура показателей.
64. ГОСТ 11506-73*. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару.
65. ГОСТ 6617-76. Битумы нефтяные строительные. Технические условия.
66. СТБ 1245-2000. Эмульсии битумные катионные. Технические условия.
67. СТБ 1262-2001. Мастики кровельные и гидроизоляционные. Технические условия.
68. ГОСТ 10923-93. Рубероид. Технические условия.
69. СТБ 1115-98. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний.
70. ГОСТ 15505-75. Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости.
71. ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям.
72. ГОСТ 16483.7-71. Древесина. Методы определения влажности.

73. ГОСТ 16483.3-84. Древесина. Методы определения предела прочности при статическом изгибе.
74. ГОСТ 14359-69. Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования.
75. ГОСТ 30693-2000. Мастики кровельные и гидроизоляционные. Общие технические условия.
76. ГОСТ 2678-94. Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний.
77. ГОСТ 10923-93. Рубероид. Технические условия.
78. ГОСТ 7415-86. Гидроизол. Технические условия.

Приложения

Приложение 1

Атомные массы элементов, входящих в состав строительных материалов

1. Алюминий (Al) – 26,97	10. Углерод (C) – 12,00
2. Водород (H) – 1,00	11. Хлор (Cl) – 35,46
3. Калий (K) – 39,10	12. Железо (Fe) – 55,84
4. Кальций (Ca) – 40,07	13. Марганец (Mn) – 54,93
5. Кислород (O) – 16,00	14. Медь (Cu) – 63,57
6. Кремний (Si) – 28,06	15. Фосфор (P) – 31,02
7. Магний (Mg) – 24,32	16. Фтор (F) – 19,00
8. Сера (S) – 32,06	17. Цинк (Zn) – 65,38
9. Натрий (Na) – 23,00	

Приложение 2

Как определить качество строительных материалов

Для будущих специалистов важно знать, как практически, не прибегая к лабораторным проверкам, определить качество строительных материалов.

Знание простых приемов оценки ведет к экономии строительных материалов, улучшает качество строительства и, как следствие, удешевляет его.

Цемент. Материал считается качественным, если не имеет признаков окомкования. Если хороший цемент взять в кулак и сжать, то он сразу вытечет (просыплется) между пальцами. Когда же в руке останутся мелкие кусочки, величиной с горошину и больше, это свидетельствует о том, что в нем начался процесс окомкования, и такой цемент имеет пониженную активность и соответственно прочность материалов на его основе. Во время хранения цемента его активность как связующего падает примерно на 5 % в месяц. Так, при хранении в течение 3 месяцев активность уменьшается до 15–20 %, в течение 6 месяцев — до 25–50 %, в течение одного года — до 30–40 %, в течение 2 лет — до 40–50 %.

Известь. Качество извести можно определить следующим образом. На растворе, где одна часть известкового теста и три части песка, складывается столбик из 8 штук красного полнотелого кирпича. Через четыре дня столбик осторожно поднимают за верхний (восьмой) кирпич. Если столбик не оборвется, то известь считается хорошего качества.

Кирпич. Бледно-розовый или коричневый цвет кирпича говорит о недожоге, такой кирпич непрочен, сильно впитывает воду, пачкает руки, при ударе издает глухой звук. Он применяется там, где не подвержен атмосферным осадкам.

Красный кирпич — нормально обожженный, твердый и прочный, мало впитывает воду, при ударе издает чистый звук. Такой кирпич хорошо теется, на изломе имеет однородное строение без пустот, камешков, извести. Используется для кладки стен, печек и каминов.

Темно-бурый цвет свидетельствует о том, что кирпич пережженный, так называемый железняк. Поверхность пережженного кирпича стекловидная, с глубокими трещинами. Кирпич-железняк очень твердый, почти не впитывает воду, поэтому плохо вяжется с раствором. Хорошо сопротивляется сырости и морозу, употребляется для кладки фундаментов.

Качество кирпича можно определить пробой на удар. Кирпич низких марок (до 75) от одного удара молотком весом 1 кг разбивается в щепень. Кирпич марки 100 разрушается на более мелкие куски от нескольких ударов. Кирпич марки выше 100 при скользких ударах молотка искрит и отбивается мелкими кусками.

Известен и такой простой способ определения качества: кирпич низких марок при падении с высоты 1,2–1,5 м на твердое каменное основание разбивается на мелкие кусочки. Если кирпич разобьется на 2–3 крупных куса, он считается хорошего качества.

Шифер кровельный асбестоцементный. Проверяется внешним осмотром. Листы не должны иметь продольных трещин. Шифер, долгое время хранившийся под открытым небом, под воздействием влаги приобретает темный цвет, что говорит о пониженной прочности.

Для проверки отбирают из стопы третий лист сверху. Сухой лист волнистого шифера, уложенный на ровное основание, выдерживает вес вставшего на него человека и не разрушается.

Камень бутовый. Качество камня определяется ударом молотка: звонкий звук издает бут хорошего качества, глухой — при наличии примесей глины и других пород. Бутовый камень низких марок от одного удара молотком весом в 1 кг разбивается в щебень. Качество камня можно определить и другим способом: если куски после насыщения их водой разбиваются на части, то камень считается непригодным для кладки.

Шлак топливный, котельный. Шлак считается пригодным для теплоизоляционной засыпки и устройства шлакоблочных стен, если он пролежал не менее года в отвале (дольше — лучше: из шлака будут вымыты и выветрены вредные примеси). Лучшим считается топливный шлак из котельных. Для затопления каркасно-засыпных стен следует применять просеянный шлак, без примесей золы, земли, камней и другого мусора. Влажность его должна быть не более 10 %.

Глина. Качество глины зависит от ее жирности. Жирность проверяется на ощупь растиранием между пальцами. В жирной глине песок не ощущается.

Кроме того, жирность можно определить следующим методом: глина раскатывается в руке жгутиком толщиной 1,5–2 см и длиной 15–20 см и вытягивается за оба конца. Жгут из тощей глины (суглинка) мало растягивается и дает неровный разрыв; глина средней пластичности вытягивается плавно и обрывается, когда толщина в месте разрыва достигает 15–20 % от первоначального диаметра; жгут из пластичной глины вытягивается плавно, постепенно утончается, образуя в месте разрыва острые концы.

Есть еще один способ: глины разных сортов скатываются в шарики диаметром 4–5 см и высушиваются в одинаковых условиях. Максимальное количество трещин на поверхности шарика указывает на наиболее жирную глину.

Широко распространен способ определения жирности глины отмучиванием, который основан на разном весе частиц (песок тяжелее глины). В пол-литровую стеклянную банку кладут 200 г глины, наливают воду, чтобы она покрывала глину на 4–5 см, тща-

тельно все перемешивают и дают отстояться. Песок осаживается на дно, сверху — глина. Примерное количество (процент) песка в глине определяется на глаз.

Песок. Песок должен быть чистым, без примесей глины, земли и пыли. Чистый песок не пачкает руки. Мелкий песок имеет зерна менее 1,5 мм, песок средней крупности — от 2 до 2,5 мм, крупный — более 2,5 мм.

Гипсовые вяжущие. Свежеизготовленный гипс не должен иметь комков. Даже при хранении в сухих условиях он быстро окомковывается и теряет свою активность примерно на 10% в месяц.

По наружному виду гипсовое вяжущее вещество похоже на мел. Простейший способ отличить гипс от мела — растереть его между пальцами. Мел кажется мягким, а гипс — зернистым. Быстрое схватывание (твердение) также может служить признаком принадлежности материала к гипсу.

Лесоматериалы. Качество древесины можно определить внешним осмотром и простукиванием. Трещины и торцовые расколы свидетельствуют о снижении прочности бревен. При простукивании обухом топора глухой звук является признаком внутренней гнили или поражения древоточцами.

Влажность древесины проверяется на ощупь. Сухая на ощупь древесина имеет влажность до 25%.

Кровельная сталь (железо). Качество листов проверяется осмотром. Особое внимание обращается на следы ржавчины. Ржавчину можно снять 5–10-процентным раствором технической соляной кислоты с последующей тщательной промывкой водой и просушкой. Для работы с кислотой следует использовать шерстяную тряпку, защищая руки резиновыми перчатками.

Соломенная сечка (из соломы хлебных злаков) считается лучшей, если ее размер составляет 1–2 см. Такой размер сечки оптимален для устройства глино-соломенной смеси при утеплении полов и потолочных перекрытий.

Столярный клей. Качественный клей, сожженный на огне спички, рассыпается в мелкую золу. Это мездровый клей. Клей более низкого качества спекается в темный шлак. Это так называемый костный клей, приготовленный из костей, копыт и рогов.

Стекло. Оконное стекло считается хорошего качества, если оно бесцветное или имеет голубоватый или зеленоватый оттенок. Желтый оттенок говорит о плохом качестве — такое стекло плохо сварено. Цвет стекла определяют, наложив три листа на белую бумагу.

Замазка. Должна быть пластичной и не прилипать к рукам.

Олифа. Хорошая олифа прозрачна, после суточного отстоя может иметь небольшой осадок (не более 10%). Наиболее надежный способ определения качества — проба на высыхание: полное высыхание слоя должно наступать не позже 24 ч. Качественная олифа соскабливается со стекла острым ножом эластичной полоской и не крошится под ножом.

Масляная краска. При хорошем качестве краски ее слой высыхает за одни сутки, при удовлетворительном — за двое суток. Если нажать пальцем на слой в течение 5 с и палец не испачкается, краска считается высохшей.

Цементное основание. Цементное основание (стяжка) под линолеум считается пригодной, если имеет влажность не более 8 %. Проверка влажности основания производится с помощью промокательной бумаги. Ее кладут на основание, а сверху плотно прикрывают полиэтиленовой пленкой с нахлестом по 10 см на каждую сторону (с грузом по всему периметру или с проклейкой резиновым клеем). Через 16 ч промокательную бумагу проверяют. Если она влажная, то основание еще непригодно для настилки линолеума.

Как определить марку бетона? Марку бетона (затвердевшего) можно определить с помощью зубила и молотка весом 0,3–0,4 кг. Если лезвие погружается на глубину 5 мм, то марка бетона 70–100. Отделяющиеся от поверхности тонкие листочки свидетельствуют о том, что его марка 100–200. Неглубокий след зубило оставляет на бетоне марки свыше 200.

Битуминозные материалы. Прежде всего выясняют, к какому виду они относятся — к битумному или дегтевому. Это необходимо для того, чтобы соблюсти принцип «подобное с подобным». Дегтевые материалы обладают резким запахом фенола (карболки), а нефтяные битумы — слабым запахом минерального масла; иногда нефтяные битумы вообще не имеют запаха. При подогревании

запах всегда усиливается. Дегти и битумы отличаются истинной плотностью — соответственно 1 и 1,25 г/см³.

Для твердых битуминозных материалов (пеков и битумов) характерным признаком является также цвет: иссиня-черный — для каменноугольных пеков и черный с коричневым оттенком — для нефтяных битумов. Помимо этого, у пеков более блестящая поверхность, чем у битумов, и они значительно жестче, что особенно заметно при низких температурах. В изломе каменноугольные пеки имеют роговистую глянцевую поверхность.

Марки битумов ориентировочно можно определить по внешним признакам, температуре размягчения. Если битум марки БН-90/10 при комнатной температуре разбить на куски молотком, то образуются осколки с блестящей поверхностью. Битум марки БН-70/30 при ударе молотком разбивается на крупные куски без осколков; битумы марки БН-50/50 при ударе сминаются.

Битум следует хранить под навесом в плотной таре. В этом случае битум трех-четырёхлетней давности годен к применению.

Содержание

Предисловие	3
1. Основные свойства строительных материалов	5
2. Природные каменные материалы и изделия	28
3. Искусственные обжиговые (керамические) материалы и изделия ...	38
4. Неорганические (гидратационные) вяжущие вещества	50
5. Бетоны на основе неорганических вяжущих веществ	77
6. Строительные растворы	145
7. Искусственные каменные необжиговые материалы	156
8. Коагуляционные (органические) вяжущие материалы, растворы и бетоны на их основе	170
9. Строительные материалы из древесины	183
10. Полимерные материалы	195
11. Гидроизоляционные и кровельные материалы	207
12. Лакокрасочные материалы	211
13. Металлы и металлические изделия	218
Литература	226
Приложения	230

Учебное издание

Основин Виктор Николаевич

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ В СЕЛЬСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МЕЛИОРАЦИИ ПРАКТИКУМ

Учебное пособие

Редактор Л. Н. Созонова
Компьютерная верстка А. В. Засуевичи

Подписано в печать 04.08.2006. Формат 60х84/16. Бумага офсетная № 1.
Гарнитура PeterburgC. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,8. Уч.-изд. л. 11,0.
Тираж 500 экз. Заказ 651.

Республиканское унитарное предприятие
«Информационно-вычислительный центр Министерства финансов
Республики Беларусь».
ЛИ № 02330/0056921 от 01.04.2004.
ЛП № 02330/0056683 от 29.03.2004.
220004, г. Минск, ул. Кальварийская, 17.

204000 р

В. Н. ОСНОВИН

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ В СЕЛЬСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МЕЛИОРАЦИИ.

● ПРАКТИКУМ ●

учебное пособие

В учебном пособии приведены задачи, связанные с оценкой свойств, технологией и применением основных строительных материалов, а также примеры их решения с учетом специфики мелиоративного, водохозяйственного и сельского строительства. Отдельные задачи предназначены для закрепления навыков статической обработки результатов экспериментов по определению качества материалов. Основное внимание уделено задачам по выбору исходных материалов для приготовления гидротехнического бетона, определению составов бетона различных видов и оценке их физико-механических свойств. Представлены необходимые справочные данные и нормативные материалы по состоянию на 1 января 2005 г. Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Мелиорация и водное хозяйство», «Сельское строительство и обустройство территорий», а также может быть использовано инженерно-техническими работниками.

ISBN 985-6782-52-X



9 789856 782520